

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Приладобудівний факультет
Кафедра приладобудування**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ М. Д. Гераїмчук
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Капітанчуку Дмитру Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації **Врахування умов відмінностей при калібруванні турбінних лічильників газу**

науковий керівник магістерської дисертації

Коробко Іван Васильович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 2019 р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації 06 грудня 2019 р.

3. Перелік завдань, які потрібно розробити Вступ. Огляд літературних джерел за темою, вибір і обґрунтування напрямів та методів дослідження. Розробка математичної моделі врахування умов відмінностей при калібруванні лічильників газу. Визначення метрологічних характеристик. Моделювання роботи турбінного лічильника за роботи різних середовищ. Розробка програмного забезпечення. Аналіз і узагальнення результатів досліджень.

4. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Схеми 1 арк. ф. А1. Турбінний лічильник газу. Складальний кресленник, 1 арк. ф. А1. Робочі креслення деталей, 2 арк. ф. А1. Графічні матеріали, 3 арк. ф. А1. Презентаційний плакат 1 арк. ф. А1.

5. Орієнтовний перелік публікацій 1 доповідь на науково-технічній конференції, 1 стаття у фаховому виданні

6. Консультант розділу дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розробка стартап-проекту</i>	<i>Бояринова К.О., д.е.н., доцент</i>		

7. Дата видачі завдання 30 жовтня 2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів дисертації	Примітка
1	Огляд літератури за темою	30.10.19 – 10.11.19	
2	Розробка математичної моделі приладу визначення вологості природного газу	08.11.19 – 16.11.19	
3	Визначення метрологічних характеристик приладу	14.11.19 – 20.11.19	
4	Моделювання роботи приладу обліку визначення вологості природного газу	15.11.19 – 30.11.19	
5	Розробка програмного забезпечення	14.11.19 – 06.12.19	
6	Аналіз отриманих результатів	27.11.19 – 06.12.19	
7	Оформлення МД та її графічної частини	20.11.19 – 05.12.19	
8	Передача МД на перевірку науковому керівнику	06.12.19	
9	Передача матеріалів МД на перевірку виявлення збігів/схожості текстів	09.12.19	
10	Представити МД на рецензію	10.12.19	
11	Представити МД на затвердження зав. кафедри	11.12.19	
12	Передача електронної версії МД до бібліотеки	13.12.19	
13	Представити МД до екзаменаційної комісії НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»	16.12.19	

Студент

(підпис)

Д.Ю Капітанчук

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

І. В. Коробко

(ініціали, прізвище)

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

РЕФЕРАТ

У магістерській дисертації зроблено аналіз існуючих приладів та засобів вимірювання витрати природного газу. Розроблено математичну модель дослідження умов відмінностей при калібруванні лічильників газу.

Проведено аналіз відмінностей середовищ калібрування та практичного застосування. Досліджено критерії подібності в гідрогазодинаміці.

Розроблено розрахунок вимірювального перетворювача витрати природного газу з врахуванням робочого середовища.

Проведено комп'ютерне моделювання турбінного перетворювача витрати з врахуванням робочого середовища.

Представлено графічний матеріал: складальний кресленик лічильника; складальний кресленик корпусу; робочі креслення деталей; графіки; карти швидкостей.

ABSTRACT

The Magisterial Disertation has a detailed analysis of the best practices and methods of the use of natural gas. The mathematical model of the achievement of the minds of the people with the gas supply has been fragmented.

An analysis of the characteristics of the middleware of calibration and practical application was carried out. The criteria for the determination of gas and gas dynamics are determined.

Calculation flowmeter natural gas with work space.

The computer's model of the turbine overturning consumption with the rudimentary working medium was carried out.

Presented graphical material: folding armchair of the lyp; folding armchair to the hull; working parts; graphs; pictures of tweaks.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	6
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ОБ'ЄМУ ТА ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ГАЗУ	9
1.1 Характеристика вимірюваного середовища та процесу вимірювання	9
1.2 Як видобувають природний газ.....	10
1.3 Якісні показники природного газу	14
1.4 Основні відомості про об'єм та об'ємну витрату	15
1.5 Аналіз сучасних методів вимірювання витрати газу	16
1.6 Мембранні лічильники газу	17
1.7 Тахометричні лічильники газу	24
1.8 Ультразвукові витратоміри	34
1.10 Барабанні лічильники газу.....	46
1.11 Висновки до розділу 1	51
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	52
2.1 Розробка математичної моделі турбінного витратоміра.....	52
2.2 Критерії подібності в гідрогазодинаміці	54
2.3 Розробка математичної моделі врахування газодинамічної теорії при калібруванні турбінних лічильників газу.....	62
2.4 Висновки до розділу 2	66
РОЗДІЛ 3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ANSYS.....	68
3.1 Особливості ANSYS технології	68
3.2 Результати моделювання за допомогою програми ANSYS.....	69
3.3 Висновки до розділу 3	81
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТУРБІННОГО ЛІЧІЛЬНИКА ГАЗУ.....	82
4.1 Аналіз стану проблеми при повірці і калібруванні лічильників газу	82
4.2 Дослідження похибки турбінного витратоміра IGTM.....	82
4.3 Висновки до розділу 4	86
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ВІДМІННОСТЕЙ ПРИ КАЛІБРУВАННІ ЛІЧІЛЬНИКІВ ГАЗУ»	87
5.1 Опис ідеї проекту	87
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	90

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Використання готового програмного забезпечення	90
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	91
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	98
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	101
5.6 Висновки до розділу 4	103
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	106

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

Густина середовища ρ [кг/м³]

Маса m [кг]

Об'єм V [м³]

Тиск p [Па]

Прискорення сили земного тяжіння g [м/с²]

Газова стала R [Дж/моль·К]

Абсолютна температура T [К]

Стисливість β_V [Н/м²]

Елементарна зміна об'єму dV [м³]

Початковий об'єм V_0 [м³]

Елементарна зміна тиску dp [Н/м²]

Коефіцієнт Пуассона k [Н/м²]

Витрата Q [м³/год]

Витрата об'ємна Q_V [м³/год]

Витрата масова Q_M [м³/год]

Площа поперечного перерізу A [м²]

Радіус турбіни r [м]

Кут нахилу лопатей β [°]

Ефективний радіус турбіни \bar{r} [м]

Зовнішній радіус турбіни R [м]

Внутрішній радіус турбіни a [м]

Момент інерції I [кг/м²]

Рухаючий момент M_ϕ [кг/м²]

Сума сил протидії $\sum M_c$ [кг/м²]

Гальмуючий момент N_T [кг/м²]

Кут вихрового потоку θ [°]

Критерій гомохронності Ho

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Критерій Ейлера Eu

Критерій Рейнольдса Re

Критерій Струхаля St

Критерій Фруда Fr

Критерій Галілея Ga

Швидкість потоку v [м/с]

В'язкість середовища μ [Па·с]

Максимальна витрата Q_{\max} [м³/год]

Мінімальна витрата Q_{\min} [м³/год]

Площа поверхні лопаті S [м²]

Ідеальна кутова швидкість ω_i [об/год]

Кутова швидкість з врахуванням ковзання ротора ω [об/год]

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Насьогодні природний газ став невід'ємною частиною життя людей. Його використовують при опаленні дому, приготуванні їжі, як паливо та в інших галузях промисловості. Природний газ являється найбільш екологічно нешкідливим енергоносієм, так як при його згоранні виділяється значно менше вуглекислого газу, ніж при згорянні нафти або вугілля. Через його важливе значення, зменшуються його запаси і як наслідок з кожним роком росте ціна.

Для обліку природного газу споживачі використовують лічильники газу, безумовно дуже важливий прилад для житлових і комерційних приміщень. Правильно підібраний витратомір для вимірювання спожитого об'єму газу, допоможе не тільки зменшити витрату, але і вести чіткий контроль щомісячних витрат ресурсу.

Існуючі вимоги щодо допустимих меж похибок вимірювальних перетворювачів витрати (ВПВ), величиною $\pm 2\%$ не можуть повністю задовольнити потреби споживачів, оскільки ВПВ повіряються, калібруються та використовуються за різних умов,

Проблема врахування відмінностей умов калібрування при використанні лічильників газу насьогодні є дуже важливою. Отже насьогодні основною задачею є наближення можливості повірки та калібрування на повітрі до результатів повірки та калібрування на природному газі.

Метою дослідження є визначення відмінностей характеристик робочих середовищ при повірці, калібруванні і застосуванні лічильників газу.

Об'єктом дослідження є вимірювання об'ємної витрати та об'єму природного газу.

Предметом дослідження є турбінні вимірювальні перетворювачі витрати.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ОБ'ЄМУ ТА ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ГАЗУ

1.1 Характеристика вимірюваного середовища та процесу вимірювання

В надрах Землі знаходиться природний газ, а також газ земної атмосфери. Він перебуває у частково розчиненому стані у підземних і наземних водах, сорбований вугіллям і деякими глинистими породами. Під час вулканічної діяльності разом з тектонічними щілинами з надр землі виділяється природний газ. Компонентами цієї суміші є переважно насичені вуглеводні (C_nH_{2n+2}) азот, діоксид вуглецю та сірководень.

Природний газ має вигляд газової шапки нафтогазових родовищ, або перебуває розчиненому стані в нафті або воді. При стандартних умовах перебуває в газоподібному стані.

За деяких термодинамічних умов газ може переходити в корі в твердий стан, утворюючи при цьому газогідратні поклади. Він з'єднується з пластовою водою за гідростатичного тиску (до 250 атм) і температури (до 295 К), після чого переходить в твердий стан в земній корі [1].

Більш високу концентрацію газу в одиниці об'єму пористого середовища мають газогідратні поклади. У звичайних газових родовищах вона менша, так як один об'єм води перейшовши в гідратний стан пов'язує до 220 об'ємів газу.

В дуже глибокій свердловині біля міста Новий Уренгой одержано приплив газу з глибини більше 6000 метрів. У земних надрах природний газ знаходиться у вигляді мікроскопічних пор. Тріщини слугують мікроскопічними каналами з'єднання пор, по цих каналах газ надходить з пор з високим тиском в пори з більш низьким тиском до тих пір, поки не виявиться в свердловині. Рух газу в пласті підпорядковується певним законам. Для добуття газу з надр землі використовують свердловини. Свердловини розміщують по всій території родовища. Це потрібно для того щоб пластовий тиск рівномірно впав до покладів. Так як газ перебуває під високим він виринається на поверхню з надр землі[1].

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Як видобувають природний газ

Щоб добути газ, який розташований на глибині більше 1 км потрібно пробурити глибокий та доволі вузький отвір у ґрунті, використовуючи бурові прилади, який називається свердловиною. Встановлення на ній засувки забезпечить видобуток тільки тої кількості газу яка необхідна. Іноді свердловина може фонтанувати – це процес викидання газу з надр землі під власним тиском.

Якщо пробуривши свердловину, її вирішують розробляти (тобто почати відбір газу назовні), то потрібно до промислу прокласти шлейф.

Метан, який є основною складовою газу, після свого відбору викидається зі свердловини під тиском 100 атмосфер, прихоплюючи на шляху велику кількість домішок. До того ж, він є мокрим, оскільки разом з ним з-під землі викидається велика маса води. Від усіх цих домішок та бруду речовину треба очистити. Велика кількість домішок і рідини видаляються під час процесу сепарації, після якого вони осідають на стінках приладів. За допомогою хімічного реагенту відокремлюють воду яка залишилася, після чого його осушують та повертають у процес очищення газу. Як наслідок щодня накопичується велика маса води, яку раніше просто випарювали, але зважаючи на економічну не вигідність і екологічну шкідливість цього, її мусять очистити і закачати під землю.

На цей час вся операція видобутку газу від кожної свердловини до надходження його споживачу повністю автоматична. Остання ланка на шляху природного газу як готової продукції – це газовимірювальна станція, на якій розташований вузол комерційного обліку. За його допомогою контролюється якість та кількість метану перед його подачею в єдину газову систему країни [2].

Щоб дійти до споживача газ може подолати по магістралях тисячі кілометрів. Проте цей процес не самостійний. Газ необхідно штовхати, деколи піднімаючи тиск. Це входить в обов'язки спеціальних газотранспортних компаній, які використовують системи розгалужених трубопроводів.

По трубі рухається газ під тиском 75 атмосфер, по мірі просування цей тиск зменшується. Отже через кожні 100-200 км стоять спеціальні газокompресорні

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

станції, які і не дають цьому тиску зменшитись. Метан стискають у відцентрованому нагнітачеві. Авіаційні турбіни підходять йому в якості двигуна. Вони підвищують швидкість газу в трубі до 20 м/с, такою ж є швидкість вітру при силькому урагані. Коли газ доходить до своєї точки призначення, його потік необхідно зупинити у відповідній точці. Цю функцію тех виконують газорозподільні станції. Вони в декілька етапів зменшують тиск з 75-ти до 12-ти, 5-ти та 0,005-ти атмосфер.

Основну частину природного газу складає метан (CH_4) — до 97.9 %. Важкі вуглеводні також присутні у складі природного газу: пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}), етан (C_2H_6) — гомологи метану, а також інші неуглеводні речовини: водень (H_2), сірководень (H_2S), діоксид вуглецю (CO_2), азот (N_2), гелій (He).

Приклад компонентного складу природного газу, що постачається населенню, може бути таким: метан (95—97,3%), етан (1,21—1,85%), пропан (0,35—0,53%), ізобутан (0,02—0,0856%), н-бутан (0,043—0,092%), пентани (0,0148—0,0342%), гексани та вищі (0,001—0,0042%), азот (0,72—0,826%), діоксид вуглецю (0,052—0,0211%), кисень (0,0075—0,0087%) [2].

У природного газу відсутні запах і колір. Щоб мати змогу визначити його по запаху, перед тим як постачати його до споживачів, до нього додають одорант. Одорант — це речовина з різким специфічним запахом. Як одорант можуть використовувати етилмеркаптан ($\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$) або суміш природних меркаптанів ($\text{C}_2\text{H}_3\text{P}$). Запах природного газу повинен відчуватись в повітрі при вмісті не більше 1/5 від нижньої границі спалахування. Доза одоранту становить 16 г на 1000 м³ природного газу. Одорант вважається агресивною речовиною, він може спричинити корозію стінок труби газопроводів, тому по магістралях високого тиску транспортують не одоризований природний газ [3].

Основні фізичні характеристики природного газу:

- густина $\rho = 0,7 \text{ кг/м}^3$ сухий газоподібний;
- температура займання: $t = 650 \text{ }^\circ\text{C}$;
- теплота згорання: 16 — 34 МДж/м³ (для газоподібного);

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- октанове число при використанні у двигунах внутрішнього згорання: 120 — 130.

Густина (питома маса) — відношення маси речовини (матеріалу) до її об'єму, є фізичною характеристикою будь-якої речовини, з якої складається тіло. Для випадку однорідних тіл густина визначається як відношення маси тіла m до об'єму V , який воно займає [3].

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1.1)$$

де m маса речовини, V - об'єм речовини.

Чим більша температура тим менша густина газу. Для так званих ідеальних газів залежність густини від температури визначається рівнянням Клапейрона

$$\rho = \frac{p}{gRT}, \quad (1.2)$$

де p - тиск, g - прискорення сили земного тяжіння; R - газова стала (для повітря 8314,19 Дж/кмоль-град); T - абсолютна температура, К.

Стисливість – зміна об'єму газу при зміні його тиску. Оцінка стисливості проходить за допомогою коефіцієнта об'ємної стисливості.

$$\beta_v = -\frac{dV}{V_0} \frac{1}{dp}, \quad (1.3)$$

де dV —елементарна зміна об'єму, м³; V_0 —початковий об'єм, м³; dp — зміна тиску, Н/м². Отже, зміна об'єму газу dV при збільшенні тиску газу на dp буде

$$dV = -\beta_v V dp, \quad (1.4)$$

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

знак мінус означає, що при збільшенні тиску зменшується об'єм(відносний приріст) [2].

Щоб знайти функціональну залежність між цими параметрами потрібно скористатись рівнянням Менделєєва – Клапейрона, яке і визначає стан газу.

$$\frac{p}{\rho} = gRT . \quad (1.5)$$

При ізотермічному процесі, коли густина газу міняється, а температура ні, характеристичне рівняння набуває виду

$$\frac{p}{\rho} = const . \quad (1.6)$$

Якщо процес адіабатний (теплообмін між навколишнім середовищем і газом відсутній) залежність між тиском і густиною виражається рівнянням Пуассона

$$\frac{p}{\rho^k} = const , \quad (1.7)$$

де k - коефіцієнт Пуассона.

Газ для якого нехтують розмірами молекул та силами молекулярної протидії називають ідеальним. Молекули в такому газі співударяються за законом співударяння пружних куль. Якщо середня відстань між молекулами у багато разів перевищує їх розміри, тобто коли розрідження досить велике, то реальні гази ведуть себе як ідеальний. Газ може бути в різних станах, тобто деяка маса газу має об'єм V , тиск p і температуру T . Величини V , p , T , що характеризують стан газу, називаються термодинамічними параметрами. Процеси, що відбуваються при сталому значенні одного з параметрів стану (T , V або p) з певною сталою масою газу, називаються ізопроцесами [3].

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Якісні показники природного газу

Згідно з міждержавним ГОСТ 5542-87 «Гази горючі природні для промислового і комунально-побутового призначення. ТЕХНІЧНІ УМОВИ», за фізико-хімічними показниками природні горючі газу повинні відповідати всім необхідним вимогам і нормам [4].

Властивості природного газу відповідно до стандартних умов наведено в таблиці 1.1

Таблиця 1.1

Властивості природного газу

Найменування показника	Норма	Метод випробування
1. Найменша теплота згорання, МДж/м ³ (ккал/м ³), при 20°C 101,325 кПа,	31,8 (7600)	ГОСТ 27193-86 ГОСТ 22667-82 ГОСТ 10062-75
2. Область значень числа Воббе (найвище), МДж/м ³ (ккал/м ³)	41,2-54,5 (9850-13000)	ГОСТ 22667-82
3. Допустиме відхилення числа Воббе від номінального значення, %, не більше	5	-
4. Масова концентрація сірководня, г/м ³ , не більше	0,02	ГОСТ 22387.2-83
5. Масова концентрація меркаптанової сірки, г/м ³ , не более	0,036	ГОСТ 22387.2-83 ГОСТ 22387.3-77
6. Об'ємна доля кисню, %, не більше	1,0	ГОСТ 23781-83
7. Маса механічних домішок в 1 м ³ , г, не більше	0,001	ГОСТ 22387.4-77
8. Інтенсивність запаху газу при об'ємній частці 1% в повітрі, бал	3	ГОСТ 22387.5-77

На газовимірювальних станціях та пунктах вимірювання витрати газу (ГВС та ПВВГ), які будують на вході магістральних газопроводів України, визначають

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

якісні показники природного газу, тобто відповідність його фізико-хімічним показникам (ФХП), які обумовлені контрактами.

ГВС та ПБВГ оснащуються новими головними і дублюючими автоматизованими комплексами обліку газу, також мають у складі архів кількості та компонентного складу газу. Щодобово в хіміко-аналітичних лабораторіях в хроматографах проводять визначення ФХП газу, який надходить на територію України[4].

Перевіряють якість газу, який постачається з газотранспортної системи до газорозподільної мережі один раз на тиждень. Результат перевірки та аналізу ФХП газу оформлюють у вигляді протоколу якості газу, який затверджується керівником управління ДП «Укртрансгаз», одна копія якого відсилається підприємству.

Перевірка калорійності природного газу, який використовує населення може бути здійсненна чрез заяву громадян, на умовах передбачених законодавством.

Тобто, у разі виникнення сумнівів, споживач може самостійно замовити проведення додаткового аналізу ФХП газу.

За результатами аналізів УкрНДІгаз теплота згоряння нижча (калорійність) природного газу на території України змінюється в межах 8 000-8250 ккал/м³, що перевищує значення калорійності газу, встановлені ГОСТ 5542-87 – не нижче 7600 ккал/м³.

1.4 Основні відомості про об'єм та об'ємну витрату

Об'єм - це величина, що визначає кількість простору в середині замкнутої поверхні, наприклад це простір, який заповнює або містить в собі речовина або фігура. Прийняті одиниці вимірювання в системі СІ – кубічний метр, кубічний сантиметр, літр.

Об'ємна витрата це – об'єм який проходить крізь заданий переріз за одиницю часу. Одиниці вимірювання в системі СІ- (м³/с).

Якщо швидкість потоку v перпендикулярна до площі поперечного перерізу S , то витрата обчислюється [3]

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q = vS. \quad (1.8)$$

Якщо, швидкість потоку газу неоднорідна, через задану площу, то об'ємна витрата обчислюється інтегралом по площі

$$Q = \int_S u d\omega, \quad (1.9)$$

де $d\omega$ - диференціал поверхні;

dS - диференціал площі.

При вимірюванні об'єму газу, що проходить крізь переріз визначають витрату об'ємну Q_v , при вимірюванні маси - масову витрату Q_m . Для усталеного потоку Q_v дорівнює добутку середній швидкості потоку на площу поперечного перерізу; Q_m - добутку густини речовини на Q_v .

Прилади, що вимірюють витрату називаються витратомірами, а для вимірювання кількості речовини - лічильниками кількості або просто лічильниками [5].

Швидкість у даній точці потоку називають місцевою або локальною. Швидкість яка визначена у конкретний момент часу, називається миттєвою, а якщо з досить великої кількості вимірювань вона становить середнє значення, тоді вона має назву осереднена, або усереднена в часі.

Швидкість з якою мають проходити всі частинки газу через поперечний переріз потоку, щоб забезпечити таку саму витрату газу, як і під час реального розподіла швидкостей, називають середньою.

Середня швидкість потоку – величина умовна, вона не визначає реального розподілу швидкостей елементарних часток газу.

1.5 Аналіз сучасних методів вимірювання витрати газу

На сьогодні вимірювання витрати природного газу дуже обширний процес. Він ведеться за різних умов та з використанням різних фізичних процесів. Існує

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дуже велика кількість витратомірів, що різняться своєю будовою та методом вимірювання. У всіх них є як плюси так і мінуси.

Основною характеристикою будь-якого лічильника газу є витрата - кількість газу, що проходить через лічильник в одиницю часу (Q – об'єм газу, одиниця виміру - $\text{м}^3 / \text{г}$) [2].

Також до технічних характеристик лічильника відноситься:

- мінімальна і максимальна витрата (Q_{\min} і Q_{\max});
- тиск газу (одиниця виміру - Па);
- межа відносної похибки (%);
- втрата тиску при Q_{\max} (одиниця виміру - Па);
- міжповірочний інтервал (років);
- поріг чутливості ($\text{м}^3 / \text{год}$);
- діапазон робочих температур $^{\circ}\text{C}$;
- габаритні розміри, мм;
- маса, кг.

На сьогоднішній день найбільш поширеними видами лічильників є: мембранні, ультразвукові, турбінні, ротаційні, вихрові, струменеві, левітаційні, барабанні. За пропускною здатністю лічильники газу можна умовно розділити на наступні групи:

- побутові - з пропускною спроможністю до $10 \text{ м}^3 / \text{год}$;
- комунально-побутові - з пропускною спроможністю від $10 \text{ м}^3 / \text{год}$;
- промислові - з пропускною спроможністю понад $40 \text{ м}^3 / \text{год}$.

1.6 Мембранні лічильники газу

Мембранний - лічильник газу, принцип дії якого базується на тому, що за допомогою різних рухливих елементів газ розділяють на частки об'єму, а потім проводять їх циклічне підсумовування.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мембранний лічильник (рис.1.1) до складу якого входять: корпус 1, кришка 2, вимірювальний механізм 3, кривошипно-важільний механізм 4, верхні клапани газорозподільного пристрою 5, стяжна смуга 6 [6] .

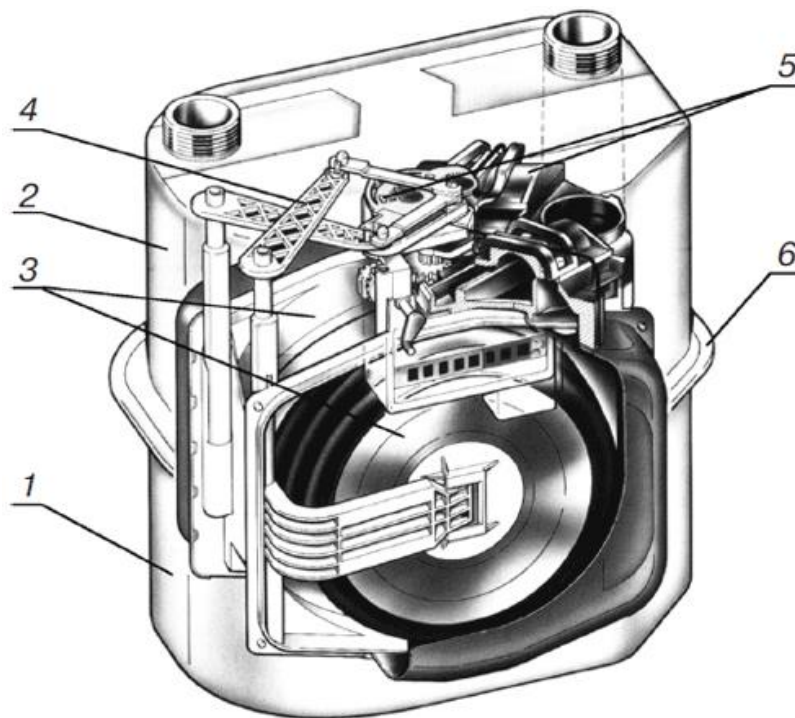


Рисунок 1.1 - Мембранний лічильник газу: 1 - корпус; 2 - кришка; 3 - вимірювальний механізм; 4 – кривошипно-шатунний механізм; 5 - верхні клапани газорозподільного пристрою; 6 - стяжна смуга

Вимірювальний механізм може складатись як з 2 так і з 4 камер – це залежить від конструкції та об'єму вимірюваного газу. Принципова схема роботи діафрагмового лічильника показана на рис 1.2.

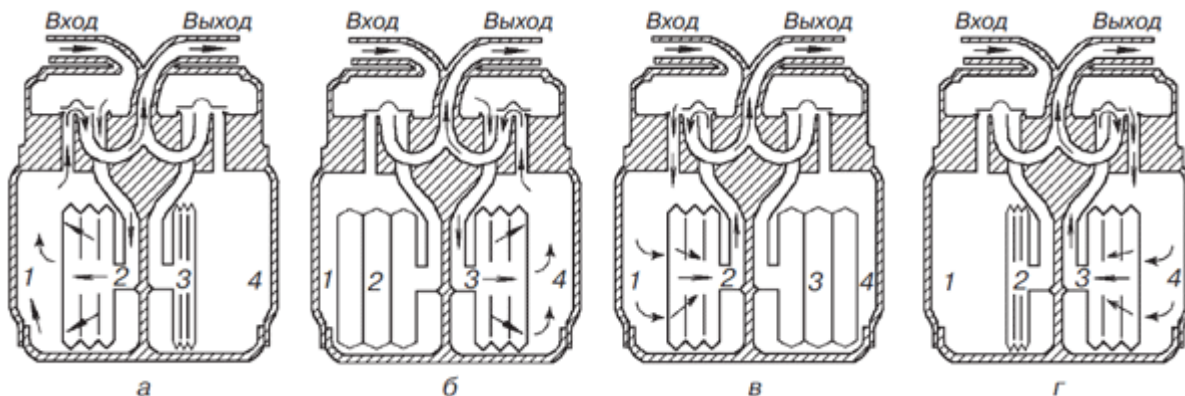


Рисунок 1.2 – Принципова схема мембранного лічильника

Лічильник працює наступним чином:

а) потік газу через вхідний патрубок надходить у верхню порожнину корпусу і потім потрапляє у камеру 2 через відкритий клапан. Об'єм газу в камері 2 збільшується і викликає переміщення діафрагми, газ витісняється з камери 1 на вихід з щілини сідла клапана і далі у вихідний патрубок витратоміра. Після того як важіль діафрагми наблизиться до стінки камери 1 діафрагма зупиниться в результаті переключення клапанних груп;

б) подачу газу з верхньої порожнини корпусу лічильника в камеру 1 відкриває клапан камер 1. Під час надходження газу в камеру 1 діафрагма переміщується, при цьому витісняючи газ камери 2 у вихідний патрубок через щілини в сідлі клапана. Після того як важіль діафрагми наблизиться до стінки камери 2, діафрагма зупиняється в результаті відключення клапанного блоку;

в) відкриття клапанів 3,4 дає вхід газу з верхньої порожнини корпусу лічильника в камеру 4. При подачі газу в камеру 4 діафрагма 3,4 переміщуючись витісняє газ з камери 3 у вихідний патрубок через щілини в сідлі клапана. Після наближення важеля діафрагми до стінки камери 3 вона зупиняється і відключає клапанний блок;

г) клапан камер 3,4 відкриває вхід для газу з верхньої порожнини корпусу в камеру 4. Після подачі газу в камеру 4 діафрагми 3,4 переміщуються і виштовхують газ з камери у вихідний патрубок через щілини в сідлі клапана. Після того як важіль наблизиться до стінки камери діафрагма зупиниться, бо відключиться клапанний блок;

Цей процес повторюється циклічно. Лічильний механізм рахує кількість ходів діафрагми. За кожен цикл виштовхується об'єм газу V , який дорівнює сумі об'ємів всіх камер. Один повний оборот вихідної осі вимірювального механізму відповідає 16-ти циклам.

Мембранні лічильники слід застосовувати для обліку газу низького тиску (не вище 0,05 МПа) з витратою газу не більше 160 м³/год [8].

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При вимірюванні витрати газу менше 16 м³/год слід застосовувати лічильники з механічною температурною компенсацією. Якщо максимальне значення витрати газу на вузлі обліку перевищує 16 м³/год, то лічильник повинен бути забезпечений електронним коректором (обчислювачем), який повинен забезпечувати реєстрацію імпульсів, що надходять від лічильника, вимірювати температуру газу і обчислювати об'єм газу, приведений до стандартних умов. При цьому застосовують умовно-постійні значення тиску і коефіцієнта стисливості газу.

При відсутності у лічильника температурного компенсатора, приведення об'єму газу до стандартних умов виконують згідно спеціальними методиками, затвердженими в установленому порядку. До переваг мембранного лічильника слід віднести:

- високу точність і довговічність;
- енергонезалежність;
- стабільність коефіцієнта перетворення в найширшому діапазоні числа Рейнольдса потоку газу (калібрування на повітрі при нульовому надмірному тиску, робота на газі при робочому тиску);
- відсутність необхідності в прямолінійних ділянках трубопроводу до і після лічильника;
- простоту і компактність монтажу;
- широкий діапазон вимірювань до 1: 160;
- відсутність необхідності в високого ступеня очищення вимірюваного газу;
- відсутність особливих вимог при технічному обслуговуванні в процесі всього терміну експлуатації;
- великий міжповірочний інтервал (до 10 років).

До недоліків відносяться: збільшення похибки вимірювання при низьких температурах (вимагають температурну компенсацію); робота на тиск до 0,05 МПа.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мембранний лічильник газу Самгаз G4 RS/2001-2 (рис. 1.3).

Лічильник може працювати з коректором, обчислювачем та системою дистанційного зняття показань (АСКОЕ) і може застосовуватися в системах контролю, регулювання та управління виробничими процесами. Робоче положення лічильника - вертикальне. Режим роботи лічильника - безперервний. Напрямок потоку газу вказано стрілкою, розташованою зверху на корпусі між вхідним і вихідним штуцерами. Лічильник є однофункціональним виробом, не вимагає обслуговування, періодично повіряється згідно з національними стандартами або нормативно-правовим актам [9].

Виробник дає гарантію на те що лічильник САМГАЗ відповіде всім вимогам технічного регламенту ДСТУ EN 1359: 2012 при правильному дотриманні споживачем правил транспортування, зберігання монтажу та використання лічильника, які прописано в додатку до нього. Гарантійний термін служби 8 років з дати його виготовлення. Термін зберігання не більше 2 роки з моменту його виготовлення.



Рисунок 1.3 – Мембранний лічильник газу Самгаз G4 RS/2001-2

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Характеристики даного лічильника наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Характеристики лічильника Самгаз G4 RS/2001-2

Модель	RS/2001-2
Типорозмір	G 4
Номінальний циклічний об'єм	1,2 дм ³
Діапазон об'ємних витрат	Q_{\min} 0,040; $Q_{\text{ном}}$ 4,0; Q_{\max} 6,0 м ³ /год
Втрата тиску при Q_{\max} , не більше	200 Па
Максимальний робочий надлишковий тиск	50 кПа
Температура експлуатації	від - 25°C до + 55°C
Міжцентрова відстань між штуцерами	110 ±0,5 мм
Номінальний діаметр приєднання	DN32, DN25, DN20
Габаритні розміри	193 x 162 x 220 мм
Маса, не більше	1,9 кг

Головні переваги:

- міжповірочний інтервал - 8 років;
- поріг чутливості Q_{st} , не менше 0,003 м³ / год;
- висока стійкість до несанкціонованого втручання;
- стабільність точності вимірювань;
- корпус виготовлений із сталевих оцинкованих листів пофарбованих порошковою фарбою;
- надстійка синтетична мембрана працює в широкому діапазоні температур;
- наявність на входному штуцері пристрої захисту від забруднень і несанкціонованого втручання (дефлектор);
- можливість приєднання НЧ датчика без пошкодження повірочної пломби лічильного механізму [5].

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мембранний лічильник газу Metrix G4(рис.1.4)

Комунально-комерційні лічильники газу "Metrix" G4, призначені для комерційного обліку споживання природного газу, газоподібних пропану, бутану і їх сумішей в комунальному і комерційному секторах при тисках і витратах, що не перевищують значень, зазначених в технічних параметрах.



Рисунок 1.4 – Мембранний лічильник газу Metrix G4

Характеристики даного лічильника наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Характеристики лічильника Metrix G4

Бренд	Metrix
Типорозмір	G 4
Номинальний циклічний об'єм	5 дм ³
Діапазон об'ємних витрат	$Q_{\min} 0,1; Q_{\text{ном}} 10,0; Q_{\max} 16,0 \text{ м}^3/\text{год}$
Втрата тиску при Q_{\max} , не більше	200 Па
Максимальний робочий надлишковий тиск	50 кПа
Температура експлуатації	від - 25°C до + 55°C
Міжцентрова відстань між штуцерами	250 ±0,5 мм
Номинальний діаметр приєднання	DN32, DN25, DN20
Габаритні розміри	395 x 214 x 345мм
Маса, не більше	6,8 кг

1.7 Тахометричні лічильники газу

Тахометричними називаються витратоміри, в яких швидкість руху робочого тіла пропорційна об'ємній витраті вимірюваного середовища. У більшості випадків робоче тіло - перетворювач витрати (крильчатка, турбінка, кулька і т.п.) - під впливом потоку обертається. Залежно від пристрою робочого тіла тахометричні витратоміри поділяються на крильчасті, турбінні, кулькові, камерні, кільцеві та ін. Класифікація тахометричних витратомірів показано на рисунку 1.5 [10].

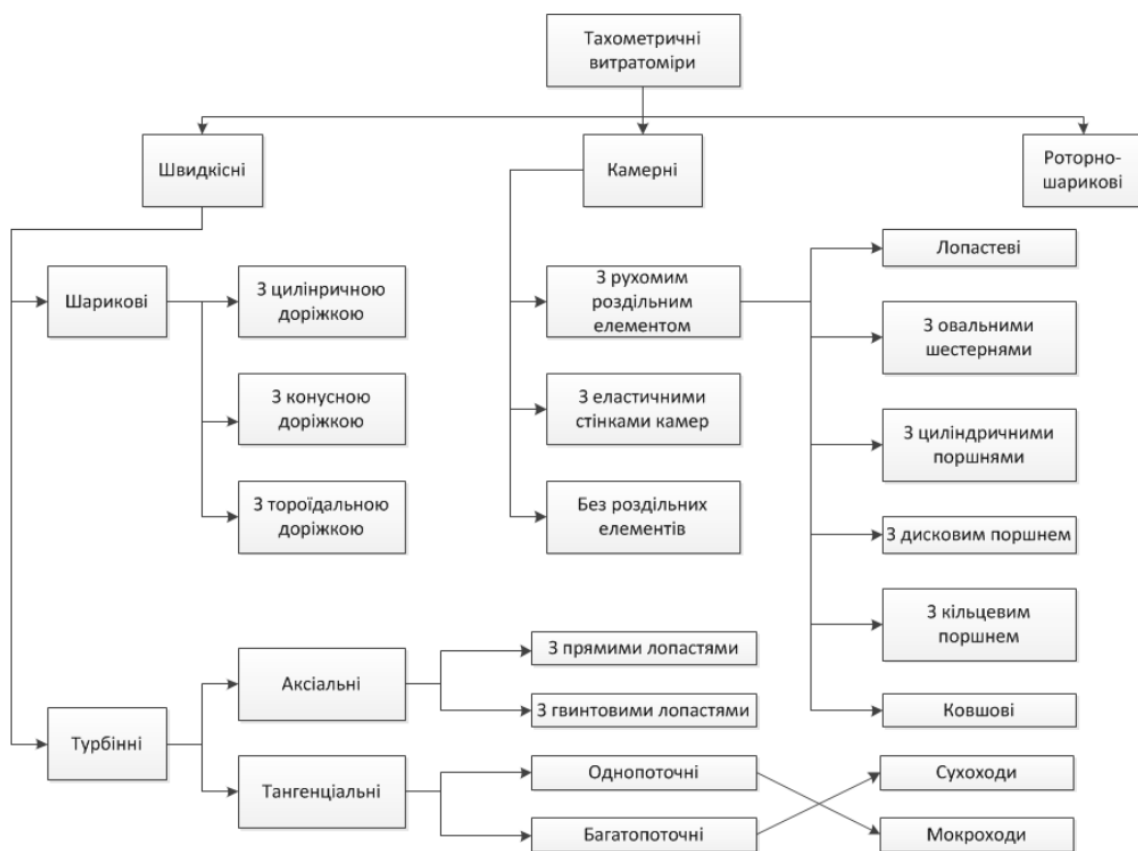


Рисунок 1.5 – Класифікація тахометричних витратомірів.

Якщо нам потрібна швидкість руху обертового елемента це витратомір, а якщо нас цікавить загальна кількість обертів – лічильник кількості речовини. Насьогодні найбільшого поширення набули лічильники води та газу.

Для того щоб створити тахометричний витратомір швидкість руху обертового елемента переводять у сигнал, який пропорційний витраті, та є

зручним для вимірювання. Для цього повинен бути двоступінчатий перетворювач витрати:

перша ступінь - турбінка (кулька або інший елемент), швидкість руху якої пропорційна об'ємній витраті;

друга ступінь - тахометричний перетворювач, який виробляє вимірювальний сигнал (частоту електричних імпульсів), пропорційний швидкості руху тіла [11].

Тут вимірювальним приладом є цифровий або аналоговий електричний частотомір. Доповнивши частотомір лічильником електричних імпульсів, отримаємо лічильник кількості пройденної речовини. Тахометричні витратоміри ще не отримали такого широкого розповсюдження, як лічильники кількості рідини і газу. Їх суттєвими перевагами є: швидкодія, висока точність і великий діапазон вимірювання. Так, якщо похибка турбінних лічильників води (вісь яких через редуктор пов'язана з рахуючим механізмом) дорівнює $\pm 2\%$, то у вимірювачів кількості, які мають тахометричний перетворювач, ця похибка знижується до $\pm 0,5\%$. Це пояснюється тим, що цей перетворювач майже не навантажує вісь турбіни. Похибка турбінного витратоміра лежить в межах $(0,5 - 1,5) \%$ в залежності від точності частотоміра, який використовується [6].

Турбінний тахометричний витратомір

Турбінні витратоміри виготовляють для труб діаметром до 750 мм, тисків 250 МПа і температур від -235° до $+750^{\circ}$. Турбінні лічильники найчастіше використовують для вимірювання витрати води, газу та різних нафтопродуктів і рідин.

Великим недоліком турбінних лічильників є зношування підшипників внаслідок чого вони непридатні для речовин, які мають у складі механічні домішки. Крім цього, вони не використовуються для дуже в'язких речовин, оскільки із збільшенням в'язкості їхні лінійні характеристики зменшуються. [11].

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

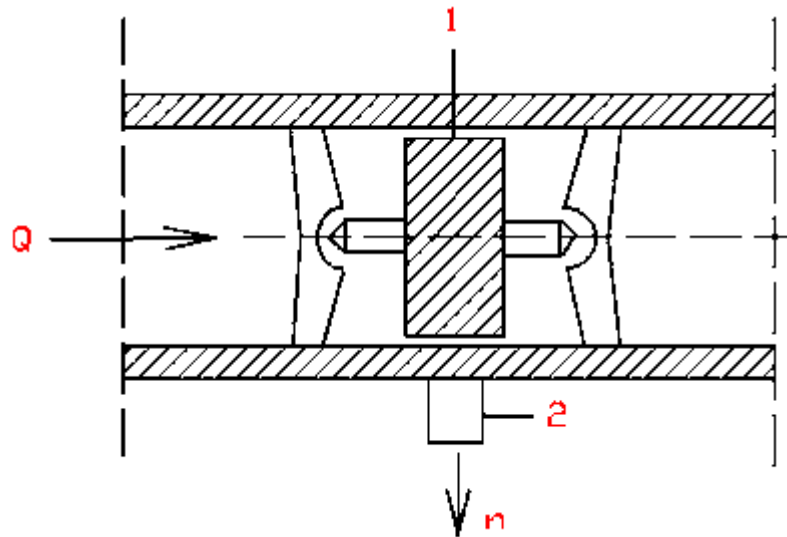


Рисунок 1.6- Тахометричний витратомір: 1- турбінка; 2- тахометр.

Кульковий витратомір

Кулькові витратоміри застосовують для вимірювання витрати рідини, в більшості випадків води, в трубах діаметром до 150-200 мм. У кулькових ВПВ чутливий елемент це кулька, яка переміщується по окружності. Гвинтовий напрямний апарат забезпечує цей рух, також закручує потік. У цих перетворювачах витрати кулька, яку охоплює закручений потік речовини, переміщується зі швидкістю яка пропорційна коловій швидкості потоку, а отже і об'ємній витраті. На рисунку 1.7 показано первинний перетворювач кулькового витратоміра.

Нерухомий вузол, який складається зі ступиці і двох направляючих апарата з обмежувальними кільцями, розташовується у корпусі кулькового лічильника. Між кільцями знаходиться маленька феромагнітна кулька. З зовнішнього боку корпусу є місце щоб закріпити на гвинтах тахометричний індукційний перетворювач, що складається з котушки та магнітного осердя. Потік рідини проходячи апарат закручується зі змінним по довжині кроком. Вихідний гвинтовий шнек аналогічний до вхідного, що є мірою реверсивності роботи витратоміра.

Кульковий витратомір слугує для вимірювання витрати при тиску 5МПа і температурі 20 ° - 200 °. Ці витратоміри мають похибку у межах 1.5-2%. В процесі їх експлуатації доріжки кочення і кулька зношуються. При зносі кульки і доріжки,

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

у приладу виникає похибка. Із збільшенням в'язкості рідини зменшується область вимірювання.

Головним плюсом даного витратоміра є можливість їх роботи в забруднених речовинах, а також простота конструкції. До недоліків можна віднести:

- підвищені гідравлічні втрати;
- вузький діапазон лінійності статичної характеристики;
- залежність показань від в'язкості вимірюваної рідини.

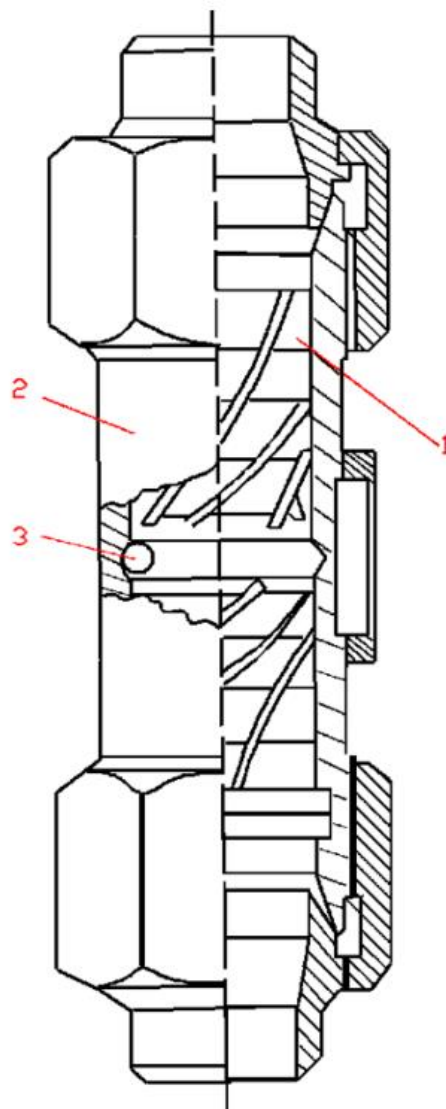


Рисунок 1.7- Первинний перетворювач кулькового витратоміра: 1-напрямний апарат; 2- корпус перетворювача витрати; 3- феромагнітна кулька.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Роторно-кульковий витратомір

Роторно-кульові витратоміри вважаються відносно новими на ринку, і поки не отримали широкого застосування. У цих приладах на відміну від кулькових, чутливий елемент рухається не по колу, а навколо своєї осі, під дією потоку речовини.

Роторно-кульові витратоміри мають наступні переваги:

- простоту конструкції;
- можливість вимірювання витрати рідин, що містять механічні домішки.

Але їм властиві такі недоліки:

- зависання чутливого елемента в отворі по осі потоку і можливе припинення його обертання;
- збільшення амплітуди коливань рухомого елемента і як наслідок удари об стінки вимірювальної камери;
- складнощі із забезпеченням надійності перетворювача частоти обертання рухомого елемента в частотний вихідний сигнал [12].

Камерний витратомір

Камерні вимірювальні перетворювачі витрати поряд з турбінними застосовуються вже досить давно. Вони різняться великою кількістю рухомих елементів. Камерні витратоміри для вимірювання витрати рідини можна поділити на такі групи:

- без рухомих роздільних елементів;
- з рухомими роздільними елементами.

Витратоміри першої групи складаються з однієї або декількох послідовно спорожнюваних і заповнюваних вимірювальних камер. До цієї групи належать лічильники, що вимірюють масу або об'єм рідини; обертові барабанні, що вимірюють об'єм рідини; прилади з коливним дзвоном. Тахометричні витратоміри без рухомого розділового елемента - найбільш точні. Вони використовуються тільки для реєстрації невеликих витрат при обмеженому тиску рідини.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витратоміри другої групи мають наступні різновиди: роторні, поршневі, дискові, з овальними шестернями, лопастеві, гвинтові і т.д. Вони застосовуються частіше за інших. Складаються вони з жорсткої камери, в якій безперервно переміщуються один або декілька роздільних елементів (поршень, диск, ротор і т.д) [12].

Ці прилади забезпечують більшу точність і більший діапазон вимірювання в порівнянні з турбінними і кульковими витратомірами. У більшості похибка доходить тільки до 0.5%. Великою перевагою є те що вони придатні для вимірювання рідини будь-якої в'язкості. Але важливим недоліком є чутливість до забруднення механічними домішками [13].

Лічильник газу турбінний ЛГ-К-80-ЕХ (рис.1.8)



Рисунок 1.8 – Турбінний лічильник ЛГ-К-80-ЕХ

Лічильники газу турбінні ЛГ-К-80-Ех призначені для реєстрації кількості газу, який проходить через трубопровід при діючих тиску та температурі.

Лічильники можуть працювати з електронними коректорами об'єму газу для цього в них є вихідний низькочастотний сигнал і високочастотний сигнал, який використовується при перевірці лічильників. Лічильники газу є

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

вибухозахищеними, мають маркування вибухозахисту 1ExibIIBT3 X та такі особливості:

- висока надійність лічильників в експлуатації;
- стабільність метрологічних характеристик в часі;
- широкий діапазон робочих тисків - до 10 МПа;
- стійкість до перевантажень;
- захищеність від несанкціонованого втручання і впливу магнітного поля;
- турбінні колеса лічильників виготовляються з алюмінієвих сплавів з подальшим твердим анодуванням;
- застосування в конструкції лічильників спеціальних підшипників підвищеної стійкості;
- застосування сучасних полімерних матеріалів;
- можливість ремонту і повірки в кожному регіоні України, простота монтажу і експлуатації;

Стандартно лічильники поставляються без масляного насоса. За окремим замовленням лічильники можуть бути оснащені масляним насосом.

Основні технічні дані лічильників газу ЛГ-К-80-Ех наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

Характеристики лічильника ЛГ-К-80-Ех

Модель	ЛГ-К-80-Ех
1.Номінальна витрата, Q_{nom} , M^3 / год	100
2.Максимальна витрата, Q_{max} , m^3 / год	160
3.Мінімальна витрата, Q_{min} , m^3 / год	16
Максимальний робочий надлишковий тиск	1.2 кПа
Температура експлуатації	від - 30°C до + 60°C
Кількість розрядів відлікового пристрою	8
Номінальний діаметр приєднання	80
Габаритні розміри	240 x (250-341) x (344-366) мм
Маса, не більше	23-45

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Лічильник газу турбінний TRZ G65 (рис. 1.9)



Рисунок 1.9 – Лічильник газу TRZ

Лічильник призначений для вимірювання об'єму плавно мінливих потоків очищених і осушених неагресивних одно- і багатокомпонентних газів (природний газ, повітря, азот, аргон та ін.) Використовується в установках промислових і комунальних підприємств (для обліку витрати газу при комерційних операціях). Лічильник газу турбінний TRZ складається з корпусу (фланцеве виконання) і вимірювального перетворювача. При впливі потоку газу на турбіну, остання обертається зі швидкістю, пропорційною швидкості потоку (об'ємній витраті) газу. Обертання турбіни за допомогою механічного редуктора передається на лічильну головку, яка ніколи (по наростаючій) сумарний об'єм газу при робочих умовах, що пройшов через лічильник [15].

Широкий діапазон вимірювання витрат (Q_{\min} / Q_{\max}) - до 1/80 в залежності від робочого тиску (для лічильників виконання «2» і «2У»).

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Висока точність вимірювання до 0,9% у всьому діапазоні витрат (для лічильників виконання «2У»). Основні технічні дані лічильників газу TRZ наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

Характеристики лічильника TRZ

Модель	TRZ
Діапазон робочих витрат	від 5 м³ / год до 6500 м³ / год
Діаметр умовного проходу	від Ду50 до Ду300
Максимальний робочий тиск газу	1,6 МПа; 6,3 МПа; 10 МПа
Температура експлуатації	від - 30°C до + 60°C
Кількість розрядів відлікового пристрою	8
Міжповірочний інтервал	10 років
Габаритні розміри	270 x 365 x 380 мм
Маса, не більше	23-45

Повірка лічильника шляхом заміни вимірювального пристрою(картриджа). Повірку лічильника можливо робити на місці його експлуатації заміною пристрою вимірювального на аналогічне, перевірене заздалегідь, при цьому метрологічні характеристики лічильника будуть відповідати характеристикам нового картриджа.

Пристрій вимірювальний є окремим засобом вимірювання і має свідоцтво про затвердження типу [16].

Пристрій вимірювальний не пов'язаний жорстко з корпусом лічильника, що дозволяє виключити вплив механічних навантажень на метрологічні характеристики лічильника.

Довжина прямих ділянок: до лічильника від 2-х ДУ, після лічильника - не потрібно.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Застосування підшипників, які не потребують додаткового обслуговування (мастила) під час експлуатації лічильника (для типорозмірів TRZ ДУ50-150).

Застосування турбінного колеса з алюмінієвого сплаву в лічильниках всіх типорозмірів, що дозволяє домогтися стабільних метрологічних характеристик на високому тиску [17].

Допустимість короткочасного перевищення максимальної витрати газу до $1,6 Q_{max}$.

Можливість роботи з електронними коректорами об'єму газу ЕК270, ЕК260, ТС220, ТС215, ТС210.

Можливість використання височастотних датчиків імпульсів А1R і А1S, середнечастотного R300 в комплексах СГ-ЕК з коректором об'єму газу ЕК270.

Монтаж лічильників можливий на горизонтальній і вертикальній (при подачі газу як зверху вниз, так і знизу вгору) ділянці трубопроводу.

Конструктивно лічильник являє собою корпус у фланцевому виконанні, в проточній частині якого послідовно по потоку розташований вимірювальний пристрій, що складається з випрямляча потоку, корпусу, турбінного колеса, вузла редуктора. Корпус має монтажні отвори для установки гільз датчиків температури, височастотних датчиків імпульсів, місце відбору тиску.

Конструкція лічильника зроблена таким чином, що вимірювальний пристрій (картридж) може цілком вилучатись з корпусу приладу. При цьому корпус не впливає на метрологічні характеристики лічильника, так як все вимірюване середовище проходить через проточну частину вимірювального пристрою.

Лічильники TRZ Ду50-Ду150 виготовляються без масляного насоса, оскільки оснащені підшипниками, які не вимагають додаткового змащення під час експлуатації. За спеціальним замовленням лічильники TRZ Ду80-Ду150 можуть оснащуватися масляним насосом. Лічильники TRZ Ду200-Ду300 випускаються тільки у виконанні з масляним насосом [11].

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.8 Ультразвукові витратоміри

Принцип дії ультразвукових витратомірів базується на вимірюванні деякого акустичного ефекту, що залежить від витрати і виникає під час проходження ультразвукових коливань через потік рідини або газу.

Сьогодні найбільше поширення набули два типи ультразвукових витратомірів: витратоміри в яких коливання переміщуються рухомим середовищем і доплерівські. Найбільше застосування знайшла перша група приладів. У таких витратомірах ультразвукові коливання, що створюються п'єзoeлементами можуть рухатись за потоком і проти нього. Різниця часів проходження ультразвукового імпульсу між випромінювачем і приймачем пропорційна швидкості потоку [12].

Основним недоліком використання ультразвукового методу пов'язане з тим, що швидкість ультразвуку в середовищі залежить від фізико – хімічних властивостей: температури, тиску і вона в рази більше чим швидкість середовища, так що реальна швидкість ультразвуку в рухомих середовищі мало відрізняється від швидкості в нерухомих. [4].

Ультразвукові витратоміри в останні роки набувають все більш широке поширення завдяки таким позитивним рисам:

- значний динамічний діапазон, що досягає 25-30;
- висока точність вимірювання, що становить $\pm (1; 2) \%$;
- можливість вимірювання витрати неелектропровідних середовищ (нафтопродукти), забруднених середовищ, суспензій;
- широкий діапазон діаметрів трубопроводів від 10 мм і вище без обмежень;
- мала інерційність;
- відсутність втрати тиску;
- широкий діапазону температур (від -220 до 600 ° С) і тисків.

До недоліків цього методу вимірювання витрати слід віднести:

- необхідність значних довжин лінійних ділянок до і після перетворювача;
- вплив на показання бульбашок повітря в потоці;

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

- необхідність контролю відкладень в трубопроводі на його робочому місці;
- складність і висока вартість приладів, яка при інших рівних умовах в 3-4 рази перевищує вартість тахометрических і електромагнітних витратомірів;
- обмеження по мінімальній швидкості потоку.

На рисунку 1.10 показано схеми ультразвукових витратомірів.

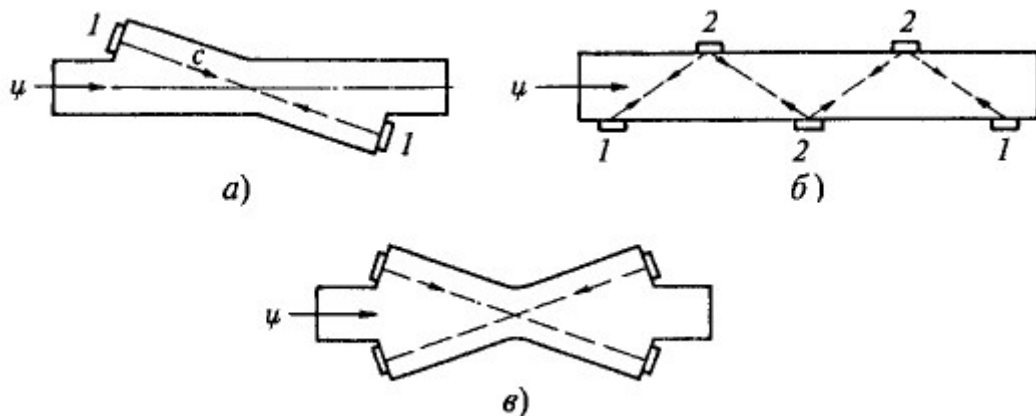


Рисунок 1.10 – Схеми ультразвукових витратомірів: а - одноканального; б - з відбивачами; в – двоканального.

За конструктивним виконанням ці витратоміри поділяються на одно- і двоканальні. У одноканальному (рис.1.10,а) кожен п'єзоелемент працює працює змінно в режимах випромінювання і приймання, що забезпечується системою перемикачів. Щоб збільшити чутливість ходу променя в середовищі можна збільшити застосування рефlectorів (рис.1.10,б). Для того щоб збільшити чутливість ультразвукового перетворювача потрібно зменшити кут між векторами швидкості потоку і ультразвуку. У двоканальному (рис.1.10, в) кожен п'єзоелемент працює тільки в одному режимі – випромінювання або приймання. Двоканальні схеми простіші чим одноканальні, але програють в точності, внаслідок можливої акустичної асиметрії обох каналів [16].

Від швидкості потоку, усередненої по ходу променя, залежать покази ультразвукового витратоміра. Також для визначення об'ємної витрати потрібно вимір швидкості усередненої по діаметру труби. Для трубопроводу з круглим

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

поперечним перерізом навіть для осесиметричних потоків швидкості усереднена по ходу променя відрізняється від усередненої по діаметру труби і їхнє відношення залежить від епюри швидкостей. Це є недоліком ультразвукових перетворювачів, що означає найбільш істотну складову методичної похибки [3].

За способом визначення часу проходження імпульсу між випромінювачем і приймачем ультразвукові витратоміри поділяються на частотно-імпульсні, частотні і фазові.

У частотно-імпульсних витратомірах циклічно вимірюються короткі імпульси тривалістю 0,1...0,2 мкс, за якими потім визначається об'ємна витрата.

У частотних витратомірах кожен слідуючий імпульс посиляється випромінювачем тільки після того як попередній досягне п'єзoeлемента.

Пов'язана зі швидкістю і об'ємною витратою різниця частот проходження імпульсів визначається диференціальною схемою.

Покази частотних витратомірів не залежать від швидкості ультразвуку в нерухомому середовищі, тому і від фізико-хімічних властивостей і параметрів середовища теж. Це є великим плюсом цих витратомірів.

У фазових витратомірах вимірюється різниця фаз ультразвукових коливань частотою, яка поширюється по потоку і проти нього. Недоліком цих витратомірів є залежність показань від зміни швидкості звуку [17].

У доплерівських ультразвукових витратомірах (рис.1.11) ультразвукові коливання відображаються рухомими частинками потоку. Доплерівські витратоміри базуються на вимірі місцевої швидкості звуку. У трубах малих і середніх діаметрів ці витратоміри можуть вимірювати середню швидкість за діаметром або частину площі труби. При наявності прямих ділянок у трубах великого діаметру відбивач повинен розташовуватись на відстані $0.12 D$ від стінок труби, де швидкість дорівнює середній швидкості потоку. В інших випадках потрібно індивідуально градуювати витратомір.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

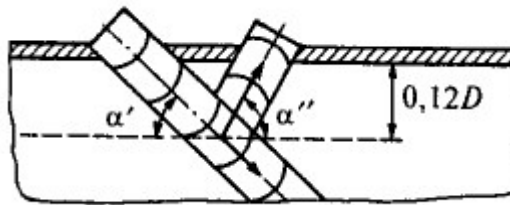


Рисунок 1.11 – Схема доплерівського ультразвукового витратоміра

В кореляційних датчиках витрати ДРК доплерівський ефект застосовується для того щоб визначити час проходження випадковими флуктуаціями між двома зміщеними по довжині труби парами ультразвукових перетворювачів. За статичну обробку сигналів, котрі надходять в приймач кожного з перетинів відповідає мікропроцесор. Швидкість потоку дізнаємось за часом, що відповідає максимуму кореляційної функції, що зв'язує сигнали, котрі надходять на обидва приймачі.

. На рис. 1.12 представлена структурна схема датчика витрати кореляційного ДРК ф. «Метран» [18].

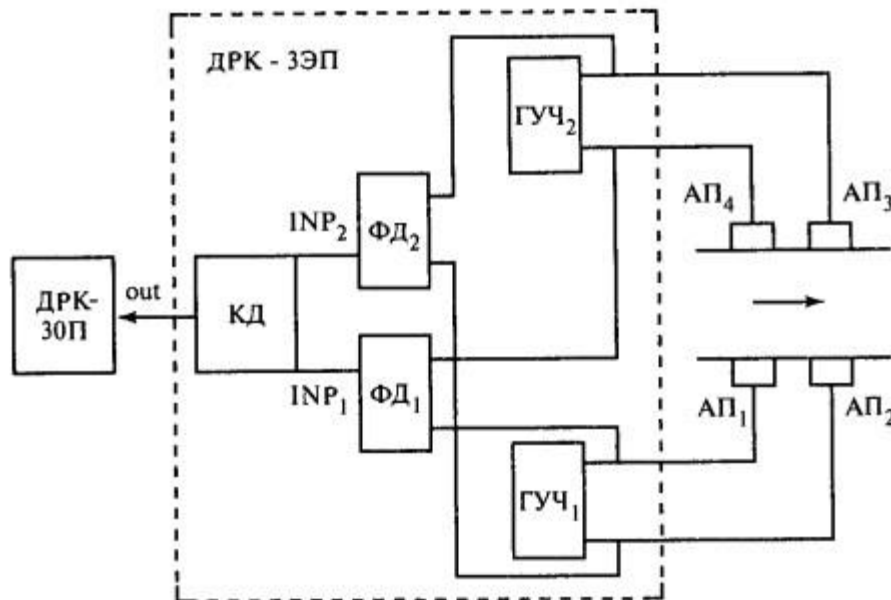


Рисунок 1.12 - Структурна схема датчика витрати

Сигнали ультразвукової частоти надходять від генераторів ГУЧ1, ГУЧ2 на акустичні перетворювачі АП1-АП4, сигнали яких викликають, завдяки

доплерівському ефекту, вторинні коливання, які накладаються на основні. Фазові детектори ФД1, ФД2 і кореляційний дискримінатор КД, керований мікропроцесором, забезпечують отримання імпульсного сигналу, пропорційного витраті. Ці сигнали можуть підсумовуватися і виводитися на цифровий індикатор, подаватися на крайній перетворювач ДРК-30П або Теплообчислювач. Такі витратоміри можуть встановлюватися в трубопроводах діаметром від 50 до 4000 мм при швидкості середовища від 0,1 до 10 м/с, межа відносної похибки становить $\pm 1,5; 2\%$ [19].

Ультразвуковий лічильник газу ГУВР-011 А4.4 (рис.1.13)



Рисунок 1.13 – Ультразвуковий лічильник газу ГУВР-011 А4.4

Цей газовий лічильник призначений для виміру швидкості потоку, об'ємної витрати і об'єму в робочих умовах. Лічильник забезпечує вимірювання в обох напрямках в великому діапазоні.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Залежно від напрямку потоку, швидкість має знак «+» або «-». Лічильник обчислює поточну об'ємну витрату, як добуток виміряної швидкості потоку і площі внутрішнього поперечного перерізу трубопроводу [20].

Лічильником можна керувати дистанційно за допомогою ЕОМ. Для цього потрібно спеціальне програмне забезпечення, потім можна вивести такі результати вимірювань:

- напрямок і швидкість потоку, поточну витрату, об'єм нарастаючим підсумком;
- осцилограму сигналу, що пройшов по акустичному каналу;
- параметри конфігурації і налаштування лічильника;
- показання годин і календаря;
- архівні дані.

Команди оператора які не змінять пароль, конфігурацію або стирання важливих даних виносяться без пароля.

Лічильник обладнаний пасивним формувачем частотно-імпульсного сигналу [10].

Основні технічні дані лічильників газу ГУВР наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

Характеристики лічильника ГУВР-011 А4.4

Модель	ГУВР-011 А4.4
Швидкість потоку м/с	Від 0.1 до 40
Діаметр умовного проходу	від Ду150 до Ду400
Максимальний робочий тиск газу	1,6 МПа; 6,3 МПа; 10 МПа
Температура експлуатації	від - 30°C до + 60°C
Кількість вимірюваних променів	4
Міжповірочний інтервал	10 років
Габаритні розміри	265 x 340 x 360 мм
Маса, не більше	20-46

Ультразвуковий лічильник газу Курс-01 (рис. 1.14)



Рисунок 1.14 – Ультразвуковий лічильник газу КУРС-01

Сучасний ультразвуковий витратомір КУРС-01 використовується для ефективного обліку природного газу, або середовищ які не є агресивними. Набув широкого застосування у різних галузях. Виробник встановлює його у системи з круглим трубопроводом. При цьому густина газів не повинна бути нижче $0,4 \text{ кг/м}^3$.

Цей лічильник застосовується для вимірювання спожитого газу і реалізується по частотно-імпульсному методу. В залежності від сигналу, що пройшов через потік і проти нього, рахується з високою точністю кожен імпульс.

На корпусі крім ПЕП, встановлюються також вимірювально-обчислювальні блоки, які здійснюють цифрування і обробку отриманих даних. Алгоритм обліку передбачає миттєвий підрахунок витрат, шляхом додавання векторів швидкості УЗК.

Переваги Курс-01:

- не містить рухомих частин, цим він в рази підвищує його надійність і відмовостійкість;
- широкий діапазон вхідних вимірювань;

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

- конструкція пристрою виключає виникнення опору при проходженні потоку газу, що не впливає на тиск;
- міжповірковий інтервал – 2 роки;
- допускається встановлення пристрою на об'єктах з високою швидкістю руху газів;
- простота зняття показників і відсутність додаткових витрат на обслуговування;
- пристрій має захист від несанкціонованої зміни даних, проникнення у вузли;
- більш того, інформація про спрацювання захисту зберігається у спеціальному сховищі, і може використовуватися надалі ;
- під час експлуатації та на весь термін міжповіркового інтервалу, пристрій живиться від літійного акумулятора, ємності якого досить для тривалої дії;
- модулі пам'яті надають можливість ефективно зберігати параметри та алгоритми роботи навіть без джерела енергії на тривалий термін;
- відповідність до міжнародних стандартів і висока точність вимірювань.

Головним недоліком є його висока вартість, якщо брати до уваги номінальний діаметр.

Основні технічні дані лічильників газу КУРС-01 наведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7

Характеристики лічильника КУРС-01

Модель	КУРС-01
Мінімальна пропускна здатність	0,5-13,0 м³/год;
Максимальна пропускна здатність	25-650 м³/год;
Діаметр умовного проходу	від Ду40 до Ду150
Максимальний робочий тиск газу	До 600 кПа
Температура експлуатації	від - 25°C до + 50°C
Міжповірочний інтервал	2 роки
Габаритні розміри	190 x 320 x 300 мм
Маса, не більше	13-32

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.9 Ротаційні лічильники газу

Насьогодні стрімко зросла кількість устаткування, тому необхідно було мати прилад, який би володів широким діапазоном і великою пропускною здатністю. Це і є ротаційні витратоміри, які широко застосовуються у комунальному та побутовому господарствах.

Ротаційний (роторний) лічильник - камерний лічильник газу, туливим елементом якого є восьмиобразні ротори.

Ротаційний газовий лічильник (рис. 1.15) складається з корпусу 1, всередині якого обертаються два однакових восьмиобразного ротора 2 передавального і лічильного механізмів, пов'язаних з одним з роторів. Ротори приводяться в обертання під дією різниці тисків газу, що надходить через верхній вхідний патрубок і виходить через нижній вихідний патрубок. При обертанні ротори обкатуються своїми бічними поверхнями. Синхронізація обертання роторів досягається за допомогою двох пар однакових зубчастих коліс, укріплених на обох кінцях роторів в торцевих коробках поза межами вимірювальної камери-корпусу. Для зменшення тертя і зносу шестерні роторів постійно змащуються маслом, залитим в торцеві коробки [5].

Об'єм газу, витіснений за півоберта одного ротора, дорівнює об'єму, обмеженому внутрішньою поверхнею корпусу і бічною поверхнею ротора, що займає вертикальне положення. За повний оберт роторів витісняються чотири таких об'єми [5].

При виготовленні ротаційних лічильників особлива увага звертається на легкість ходу роторів і зменшення невраховуваних витоків газу через лічильник. Легкість ходу, що є якісним показником малого тертя в механізмі, а отже, і малою втратою тиску в лічильнику, забезпечується установкою валів роторів на кулькові підшипники, зведенням до мінімуму тертя в редукторі і рахунковому механізмі, а також раціональним вибором конструктивних розмірів і частоти обертання роторів. Зменшення витоків газу досягається ретельною обробкою і взаємною підгонкою внутрішньої поверхнею корпусу і тертям роторів. Зазор між корпусом і

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прямокутними майданчиками, розташованими на кінцях найбільших діаметрів роторів, коливається від 0,04 до 0,1 мм в залежності від типу лічильника. При виготовленні лічильників особлива увага приділяється статичним балансуванню і обробці роторів [23].

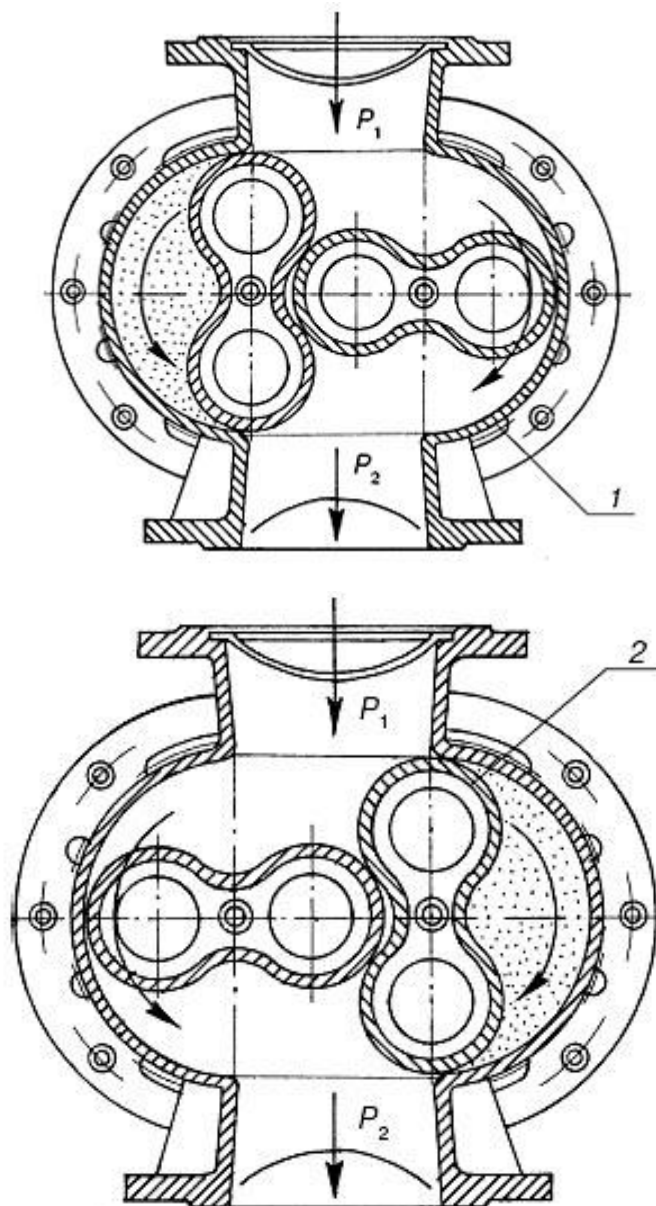


Рисунок 1.15 – Схема ротаційного лічильника: 1-корпус; 2- ротор.

Ротаційний лічильник газу Ямпіль РЛ G6 (рис. 1.16)



Рисунок 1.16 – Ротаційний лічильник газу Ямпіль РЛ G6

Ямпільські лічильники газу роторного типу (ротаційні) з механічним відліковим пристроєм G2,5 РЛ, G4 РЛ, G6 РЛ. Газові лічильники Ямпіль РЛ призначені для виміру об'єму природного газу відповідно до ГОСТ 5542 при проведенні комерційного обліку на об'єктах газоспоживання. Лічильники для газу роторні Ямпіль G2,5 РЛ, G4 РЛ, G6 РЛ і G10 РЛ не мають собі рівних за характеристиками серед імпорتنих і вітчизняних аналогів. Особливими перевагами вони володіють порівняно з лічильниками інших типів.

Ключові особливості лічильників газу РЛ Ямпіль:

- надійність і безпека;
- сучасна конструкція і дизайн;
- малогабаритні;
- самоочищаються;
- стабільні метрологічні характеристики протягом усього терміну служби;
- стійкі до вологості навколишнього повітря до 98% при температурі 25 ° С;
- надійно працюють при змінах густини, тиску і швидкості потоку газу;
- прості у використанні і обслуговуванні;
- легко і надійно монтуються в газову систему.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Основні технічні дані лічильників газу Ямпіль РЛ G6 наведено в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8

Характеристики лічильника Ямпіль РЛ G6

Модель	Ямпіль РЛ G6
Максимальна витрата газу	10 м ³ /год;
Номінальна витрата газу	6 м ³ /год;
Мінімальна витрата газу	0.025 м ³ /год;
Поріг чутливості	0.016 м ³ /год;
Максимальний надлишковий тиск	50 кПа
Температура експлуатації	від - 25°C до + 50°C
Міжповірочний інтервал	5 років
Габаритні розміри	130 x 100 x 92 мм
Маса, не більше	1.5 кг

Лічильник газу Novator G2.5 (рис. 1.17)



Рисунок 1.17 – Лічильник газу Novator G2.5

Лічильники газу роторні Новатор РЛ G2.5, G4, G6 Novator призначені для вимірювання об'ємної витрати природного і інших неагресивних газів при

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

проведенні комерційного обліку на об'єктах газоспоживання. Лічильники газу РЛ Новатор ремонтпридатні, працюють з неочищеними газами і не вимагають додаткових систем кріплення.

Термін служби роторних лічильників Новатор РЛ з урахуванням технічного обслуговування - не менше 20 років.

Режим роботи роторних лічильників Novator РЛ може бути безперервним або з перервами.

Ємність відлікового пристрою лічильного механізму становить 99999,999 м³.

Ціна молодшого розряду відлікового пристрою становить 0,001 м³ [24].

Основні технічні дані лічильників газу Novator РЛ G2.5 наведено в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9

Характеристики лічильника Novator РЛ G2.5

Модель	Novator РЛ G2.5
Максимальна витрата газу	4 м ³ /год;
Номінальна витрата газу	2.5 м ³ /год;
Мінімальна витрата газу	0.08 м ³ /год;
Поріг чутливості	0.016 м ³ /год;
Максимальний надлишковий тиск	50 кПа
Температура експлуатації	від - 25°C до + 50°C
Діаметр умовного проходу приєднувальних штуцерів	20 мм
Габаритні розміри	145 x 100 x 98 мм
Маса, не більше	2 кг

1.10 Барабанні лічильники газу

Робота цих лічильників заснована на безперервному вимірюванні і відрахунку рівних об'ємних порцій газу. Число цих об'ємів реєструється рахунковим механізмом (рис. 1.18).

У герметичному циліндричному кожусі 1, заповненому більш ніж наполовину затвора рідиною, обертається концентрично розташований барабан 2, розділений

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

чотирма радіальними і однією циліндричною перегородками на п'ять камер I-V. Камери I-IV з'єднуються з простором кожуха 1 щілинами а, b, с, і d внутрішньою камерою V через щілини а₁, b₁, с₁ і d₁ [21].

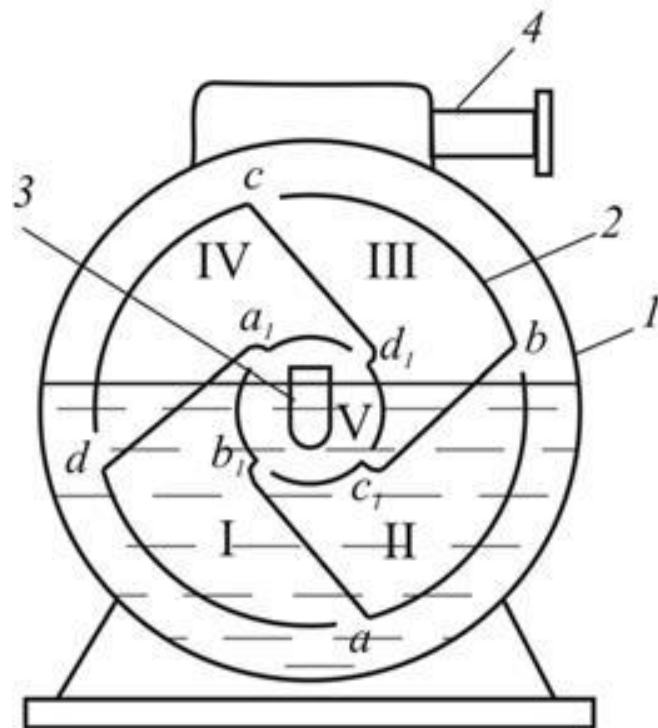


Рисунок 1.18 – Лічильник барабанного типу : 1-кожух; 2-барабан; 3-подаюча газ труба; 4-відвідна газова труба; I-V – камери

В камеру V через порожнисту вісь входить труба 3, а у верхній частині кожуха встановлена труба 4. Радіальні перегородки і з'єднують щілини розташовані так, що газ послідовно заповнює камери I - IV. Перепад тиску в трубах 3 і 4 змушує барабан обертатися за годинниковою стрілкою. Вхідна і вихідна щілини кожної камери ніколи не можуть бути одночасно над рівнем рідини, отже, пряме перетікання газу з труби 3 в трубу 4 виключається [5]. Кожна камера заповнюється певним постійним об'ємом газу, який витісняється з камери в кожух приладу при виході випускний щілини з під рівня замикаючої рідини. Обертання барабана 2 передається відліковому механізму, розташованому зовні кожуха. За один оберт через барабан проходить об'єм газу, що дорівнює сумі об'ємів камер, що відсікаються речовиною. Барабанні лічильники застосовують для вимірювання

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

світильного, газогенераторного, коксового та інших нейтральних газів, які не розчиняються в затворі рідини і не впливають на матеріал лічильника. Обов'язковою умовою роботи барабанних газових лічильників є сталість рівня речовини в кожусі лічильника. Для контролю рівня рідини лічильник оснащують водомірним склом або пристроєм для підтримання сталості рівня.

Барабанні лічильники газу являють собою дуже точні прилади, їх похибка не перевищує 0,2%. Однак, вони рідко випускаються продуктивністю понад 3 м³/год, тому що при великій продуктивності габарити їх занадто великі [25].

Барабанний лічильник газу RITTER(рис. 1.19)



Рисунок 1.19- Лічильник газу RITTER

Газовий лічильник RITTER універсальний для вимірювання об'єму текучих газів, особливо в самих малих і середніх витратах, наприклад, в лабораторіях, де потрібна висока точність.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Лічильники барабанного газу можуть бути обрані з 5 різних високоякісних матеріалів: полівінілхлорид (ПВХ), поліпропілен (ПП), полівініліденфторид (ПВДФ), поліетиленова електропровідна і нержавіюча сталь (ПЕ-ел) (1.4571). Завдяки цілеспрямованому вибору відповідного матеріалу барабанні газові лічильники також можуть використовуватися з високоактивними газами.

Якщо до ударної міцності корпусу вимірювача пред'являються більш високі вимоги, можна вибрати корпус з нержавіючої сталі, який можна комбінувати з вимірювальним барабаном з ПВХ, ПП, ПВДФ або ПЕ-ел [21].

Бажаний діапазон виміру може бути вибраний з 8 типорозмірів (всього) від 1 л/год до 18 000 літрів на годину при температурі газу в діапазоні від -10°C до $+80^{\circ}\text{C}$. Корпус з твердим покриттям був спроектований в стандартному виконанні з максимальним надлишковим тиском 50 мбар (корпус з термопластів) або 500 мбар (корпус з нержавіючої сталі); більш високі рівні тиску доступні до 40 бар.

Лічильники газу барабанного типу RITTER - це вимірювачі витрати газу з обертовим вимірювальним блоком (вимірювальним барабаном). У вимірювальному барабані примусове вимірювання об'єму здійснюється шляхом періодичного заповнення і спорожнення жорстких вимірювальних камер.

Точне виготовлення та калібрування призводять до точності вимірювання $\pm 0,2\%$ при номінальній витраті і приблизно $\pm 0,5\%$ по всьому діапазону вимірювань. Величезна перевага барабанного лічильника газу над іншими вимірювальними принципами, об'єм газу на вторинні заходи, таких як швидкість, теплоємність, визначити, що об'єм вимірюється безпосередньо. Це означає, що умова і склад газу не впливають на точність вимірювання. Тому коригувальні фактори, що враховують тип газу, температуру, вологість і т. д. не потрібні. Слід зазначити, що в інших, що не об'ємних методах вимірювання зазначена точність вимірювання досягається тільки з точним знанням поправочних коефіцієнтів для миттєвого стану газу [8].

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Основні технічні дані лічильників газу RITTER наведено в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10

Характеристики лічильника RITTER TG01

Модель	RITTER TG01
Максимальна витрата газу	30 м ³ /год;
Номінальна витрата газу	10 м ³ /год;
Мінімальна витрата газу	0.1 м ³ /год;
Поріг чутливості	0.002 м ³ /год;
Максимальний надлишковий тиск	5 кПа
Температура експлуатації	від - 25°C до + 50°C
Габаритні розміри	125 x 80 x 98 мм
Маса, не більше	2 кг

Лічильник газу ГСБ -400 (рис.1.20)



Рисунок 1.20 – Лічильник газу ГСБ -400

Для вимірювання та реєстрації малих витрат газу в лабораторіях на промислових підприємствах використовуються універсальні вимірювачі витрати газу (барабанного типу) Типу ГСБ-400 або його повного аналога LML-2

Вимірювачі газу постійно забезпечують максимальну точність навіть при найнижчих витратах газу з інертними або найбільш агресивними газами.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Рідинні газові лічильники працюють за принципом позитивного переміщення. Занурений пробовідбиральний потік газу обертає вимірювальний барабан всередині набивочної рідини, зазвичай води або слабовязкого «білого» (прозорого) масла. Механізм натискного диска і лічильника, з'єднаний з обертовим барабаном, реєструє об'єм потоку газу, який послідовно заповнює і спорожняється з жорстких камер фіксованого об'єму барабана.

Основні технічні дані лічильників газу ГСБ-400 наведено в таблиці 1.11.

Таблиця 1.11

Характеристика лічильника ГСБ-400

Модель	ГСБ-400
Максимальна витрата газу	75 м ³ /год;
Номінальна витрата газу	4 м ³ /год;
Мінімальна витрата газу	0.4 м ³ /год;
Поріг чутливості	0.002 м ³ /год;
Максимальний надлишковий тиск	78 Па
Температура експлуатації	від - 25°С до + 50°С
Габаритні розміри	370 x 295 x 315 мм
Маса, не більше	6.6 кг

1.11 Висновки до розділу 1

У першому розділі було проведено оцінку засобів та методів вимірювання об'єму та об'ємної витрати. Зроблено аналіз вимірювального середовища. Розглянуто принципи роботи мумбранних, турбінних, ультразвукових, ротаційних та барабанних лічильників газу. Наведено їхні технічні характеристики, переваги та недоліки. Кожен вимірювальний перетворювач витрати має як переваги так і недоліки. Лічильники поділяються на побутові, комунальні та промислові, класифікуються по витраті газу за годину. Тому важливо буде перед придбанням оцінити умови в яких він буде знаходитись та працювати.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

2.1 Розробка математичної моделі турбінного витратоміра

Коли нема сил діючих на сповільнення ротора модель турбіни

$$r\omega_i = \frac{\tan \beta}{V}, \quad (2.1)$$

де r - радіус турбіни; ω_i - ідеальна швидкість обертання ротора; β - кут нахилу лопаті; V - об'єм.

Якщо ми введемо в рівняння 2.1 загальний обсяг витрати Q то отримаємо

$$\frac{\omega_i}{Q_v} = \frac{\tan \beta}{\bar{r}A}, \quad (2.2)$$

де $\bar{r} = \sqrt{\frac{R^2 + a^2}{2}}$ - ефективний радіус турбіни; R -зовнішній радіус турбіни; a - внутрішній радіус турбіни; A - площа поперечного перерізу труби; Q_v -об'ємна витрата.

При постійному потоці швидкість ротора в загальному випадку дорівнює

$$2\pi I \frac{d\omega}{dt} = M_\delta - \sum M_c, \quad (2.3)$$

де I - момент інерції, ω -швидкість обертання ротора; M_δ - рухаючий момент; $\sum M_c$ - сума сил протидії.

Тоді різниця між фактичною швидкістю ротора ω і ідеальною швидкістю ротора ω_i , являється швидкість ковзання ротора через комбінований ефект всіх гальмівних моментів ротора

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\int_a^R (\rho Q_V 2\pi r^2 (r\omega_i - r\omega) / \pi(R^2 - a^2)) dr = N_T, \quad (2.4)$$

звідси отримуємо

$$r^2 \rho Q_V (\omega_i - \omega) = N_T \quad (2.5)$$

де N_T - гальмівний момент; ρ - густина потоку.

Комбінуючи рівняння (2.1) та (2.5) отримаємо

$$\frac{\omega}{Q_V} = \frac{\tan \beta}{\bar{r}A} - \frac{N_T}{\bar{r} \rho Q_V^2}. \quad (2.6)$$

Використовуючи коефіцієнт сил протидії отримаємо

$$F = \frac{\rho V^2}{2} C_D S, \quad (2.7)$$

де C_D - коефіцієнт протидії; S – площа поверхні лопаті.

Використавши це рівняння при турбулентному потоці сила буде дорівнювати

$$F = \rho V^2 0.074 \text{Re}^{-0.2} S. \quad (2.8)$$

Припускаючи, що кут вихрового потоку θ виходу через обертальний момент ротора менший порівняно з β то

$$N_T = \omega(R + a) \rho V^2 0.037 \text{Re}^{-0.2} S \sin \beta. \quad (2.9)$$

Об'єднавши рівняння (2.6) та (2.9) отримаємо

$$\frac{\omega}{Q_V} = \frac{\tan \beta}{\bar{r}A} - \frac{0.037 \omega (R + a) S A^2 \text{Re}^{-0.2} \sin \beta}{\bar{r}^2}. \quad (2.10)$$

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Критерії подібності в гідрогазодинаміці

Гідрогазодинамічна подібність - це така подібність потоків при яких вони будуть геометрично, динамічно і кінематично подібні, а також відповідатимуть деяким умовам:

- в подібних точках мають бути прикладені однойменні сили.
- векторні поля сил, які впливають на середовище мають бути геометрично подібними [7].

За подібності потоків гідродинамічні параметри можна тримати множенням числових значень однойменних параметрів іншого потоку на постійні безрозмірні множники, що називаються масштабами подібності [5].

Якщо два потоки подібні між собою, то вони описуються однаковими рівняннями з однаковими граничними і початковими умовами. Вони представлені у безрозмірному вигляді, для них однаковими будуть наступні коефіцієнти:

- число Рейнольдса – відображає відношення сил інерції та вязкості;
- число Струхала - характеризує залежність складових інерційних сил від часу;
- число Ейлера – відображає відношення сил тиску та інерції;
- число Фруда - відображає відношення сил інерції до сил гравітації.

Запишемо рівняння Нав'є-Стокса (2.11) -рівняння переносу кількості руху - для вертикальної осі z:

$$\frac{\partial w_z}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial w_z}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_z}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} - g + \nu \nabla^2 w_z. \quad (2.11)$$

Перемножимо всі елементи цього рівняння на відповідні константи подібності:

$$\frac{a_w}{a_x} \frac{\partial w_z}{\partial \tau} (w_x \frac{\partial w_z}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_z}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_z}{\partial z}) = \frac{a_F}{a_F a_b} (-\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z}) + a_g (-g) + \frac{a_v a_w}{a_l^2} \nu \nabla^2 w_z \quad (2.12)$$

Для збереження тотожності отриманого і вихідного рівнянь прирівняємо всі коефіцієнти, які стоять при однакових доданках:

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

$$a_w / a_x = a_w^2 / a_1 = a_F(a_F a_1) = a_g = a_v a_w / a_1^2. \quad (2.13)$$

Розділивши в рівнянні (2.11) комплекси констант подібності (1), (3), (4) і (5) на (2). Отримаємо співвідношення між відповідними силами і силами інерції: для збереження тотожності отриманого і вихідного рівнянь прирівняємо всі коефіцієнти, які стоять при однакових доданках:

$$\frac{a_l a_w}{a_x a_w^2} = 1; \quad \frac{a_l a_F}{a_F a_l a_w^2} = 1; \quad \frac{a_l a_g}{a_w^2} = 1; \quad \frac{a_v a_l a_w}{a_l^2 a_w^2} = 1; \quad (2.14)$$

Розглянемо співвідношення (IV) у виразі (2.14): $a_v / (a_l a_w) = 1$. Замінюючи константи подібності на відношення відповідних величин, отримаємо:

$$\frac{(w_1 / w_2) / (l_1 / l_2)}{v_1 / v_2} = 1, \quad (2.15)$$

або

$$\frac{w_1 l_1}{v_1} = \frac{w_2 l_2}{v_2} = idem, \quad (2.16)$$

звідки

$$wl / v = wl \rho / \mu = Re. \quad (2.17)$$

Тобто вже відоме безрозмірне число - Критерій Рейнольдса. Воно характеризує відношення сил інерції до сил тертя і визначає режим руху у всіх подібних точках подібних систем [9].

Співвідношення (I) в рівнянні (2.14) враховує несталий рух речовини:

$$\frac{a_l}{a_x a_w} = 1, \quad (2.18)$$

або

$$\frac{w_1 \tau_1}{v_1} = \frac{w_2 \tau_2}{v_2} = idem, \quad (2.19)$$

звідки

$$w\tau / l = Ho. \quad (2.20)$$

Вираз (2.20) є критерієм подібності, що характеризує несталий стан процесу, і називається критерієм гомохронності *Ho*. У всіх подібних точках подібних систем (натури і моделі) критерій гомохронності має одне і те ж значення, якщо тільки в цих системах рух несталий [10].

Зі співвідношення (II) отримаємо критерій подібності, що характеризує відношення сил гідростатичного тиску до сил інерції в подібних системах:

$$\frac{a_F}{a_F a_w^2} = 1, \quad (2.21)$$

або

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{P_1}{\rho_1 w_1^2} = \frac{P_2}{\rho_2 w_1^2} = idem. \quad (2.22)$$

Безрозмірне відношення $\frac{P}{\rho w^2}$ називають Критерієм Ейлера.

При вирішенні багатьох технічних завдань гідродинаміки важливо визначати не абсолютний тиск P в системі, а різницю тисків ΔP між будь-якими точками або перетинами потоку рідини. Тому зазвичай критерій Ейлера відображає вплив перепаду гідростатичного тиску на рух рідини і виражається наступним чином:

$$Eu = \Delta P / (\rho w^2). \quad (2.23)$$

Нарешті, співвідношення (III) характеризує відношення сили тяжіння до сили інерції:

$$\frac{a_l a_g}{a_w^2} = 1, \quad (2.24)$$

або

$$\frac{w_1^2}{g_1 l_1} = \frac{w_2^2}{g_2 l_2} = idem. \quad (2.25)$$

Звідси отримуємо новий безрозмірний комплекс, званий Критерієм Фруда, який відображає вплив сил тяжіння на рух речовини:

$$\frac{w_2^2}{g_2 l_2}. \quad (2.26)$$

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, рішення рівняння Нав'є-Стокса, що описує в загальному вигляді процес руху в'язкої речовини, може бути представлено критеріальним рівнянням виду:

$$F(Ho, Eu, Fr, Re) = 0, \quad (2.27)$$

Яке називають узагальненим (критеріальним) рівнянням гідродинаміки. Будь-яке завдання руху в'язкої рідини може бути вирішене шляхом знаходження залежності між критеріями, що входять в рівняння (2.27).

У рівнянні (2.27) всі критерії подібності, крім Eu , є визначальними, так як вони складені тільки з величин, які визначають умови однозначності. Оскільки при вирішенні практичних завдань за допомогою рівняння (2.27) зазвичай визначають величину ΔP , що входить в Eu , то в цьому випадку рівняння (2.27) вписують щодо відносно визначеного критерію Eu :

$$Eu = F(Ho, Fr, Re). \quad (2.28)$$

Наприклад

$$Eu = A \cdot Ho \cdot Q \cdot Fr \cdot N \cdot Re \cdot M, \quad (2.29)$$

де значення A , Q , N , M зазвичай визначають дослідним шляхом. У ряді випадків рівняння (2.28) доповнюють геометричним симплексом, що відображає вплив відношення довжини каналу до його діаметру - L / D .

При усталеному русі критерій гомохронності може бути виключений з рівняння (2.27) тоді

$$F^2(Eu, Fr, Re) = 0. \quad (2.30)$$

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У тому випадку, якщо швидкість руху речовини складно визначити (наприклад, при природній конвекції), вводять так звані похідні, або модифіковані критерії подібності, що складаються з основних критеріїв. У цих похідних умовах тяжковизначна величина відображена за допомогою інших величин, які порівняно просто визначаються аналітично або експериментально [11].

Наприклад, при природній конвекції, що виникає внаслідок різниці густини, обумовленою розходженням температур в різних точках цієї рідини, важко визначити швидкість руху конвективних струмів. Критерій Фруда відображає дію сили тяжіння, внаслідок яких відбувається переміщення частинок рідини, але в нього входить тяжковизначна величина W . Для того щоб виключити величину W з критерію $Fr = w^2 / gl$ беруть відношення двох критеріїв:

$$Re^2 / Fr = \left(\frac{w^2 l^2 P^2}{\mu^2} \right) \left(\frac{gl^3}{w^2} \right) = \frac{L^3 P^2 g}{\mu^2}. \quad (2.31)$$

Отриманий безрозмірний комплекс величин є похідним критерієм і називається Критерієм Галілея:

$$Ga = \frac{L^3 P^2 G}{\mu^2}. \quad (2.32)$$

Якщо помножити цей критерій на відношення $\frac{\rho_0 - \rho}{\rho}$ (де ρ_0, ρ - густини речовини в різних точках), що відбиває причину виникнення конвективних струмів, отримаємо новий похідний критерій подібності критерій Архімеда:

$$A_\Gamma = G_a \frac{\rho_0 - \rho}{\rho} = \frac{L^3 \rho^2 g}{\mu^2} \frac{\rho_0 - \rho}{\rho}. \quad (2.33)$$

У подібних системах, в яких процеси протікають при природній конвекції під дією сили тяжіння, необхідне дотримання рівності критеріїв G_a або A_Γ .

Тепер отримаємо критерії гідродинамічної подібності на основі аналітичного методу.

Запишемо рівняння Нав'є -Стокса (2.11) для осі z :

$$\frac{\partial w_z}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial w_z}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_z}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + \nu \nabla^2 w_z. \quad (2.34)$$

Для того щоб привести це рівняння до безрозмірного вигляду, проводять такі перетворення.

$$\frac{w_z}{w} = \eta. \quad (2.35)$$

Тоді η - безрозмірна швидкість. Аналогічно z (x або y) = ζL ;

$$G(Z) = \varepsilon_1 g; \quad \tau_2 = \varepsilon \tau; \quad p_{(z)} = \zeta p. \quad (2.36)$$

У нових змінних рівняння (2.11) набуде вигляду:

$$\frac{w \partial \eta}{\partial \varepsilon} + \frac{w^2}{l} \eta \sum_i \frac{\partial \eta_i}{\partial \zeta} = -\frac{p}{pl} \frac{\partial \zeta_1}{\partial \zeta} - g \varepsilon_1 + \frac{wv}{l^2} \sum_i \frac{\partial^2 \eta_i}{\partial \zeta^2}, \quad (2.37)$$

де $l = 1, 2, 3$.

Розділивши ліву і праву частини рівняння (2.37) на $\frac{w^2}{l}$, отримаємо

$$\frac{l}{w\tau} \frac{\partial \eta}{\partial \varepsilon} + \eta \sum_i \frac{\partial \eta_i}{\partial \zeta} = -\frac{p}{\rho w^2} - \frac{gl}{w^2} \varepsilon_1 + \frac{v}{wl} \sum_i \frac{\partial^2 \eta_i}{\partial \zeta^2}, \quad (2.38)$$

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

але

$$\sum \frac{\partial \eta_i}{\partial \zeta} = 0; \quad \frac{l}{w\tau} = \frac{1}{Ho}; \quad \frac{\rho}{\rho w^2} = Eu; \quad \frac{gl}{w^2} = \frac{1}{Fr}; \quad \frac{v}{wl} = \frac{1}{Re}.$$

Тоді рівняння (2.38) набуде вигляду

$$\frac{1}{Ho} \frac{\partial \eta}{\partial \varepsilon} + Eu \frac{\partial \zeta_1}{\partial \zeta} + \frac{1}{Fr} \varepsilon_1 - \frac{1}{Re} \sum \frac{\partial^2 \eta_i}{\partial \zeta^2} = 0. \quad (2.39)$$

Сюди входять всім вже відомі критерії подібності гідродинамічних процесів: Ho , Eu , Fr , Re .

Таким чином, двома формально різними методами отримано рівне число одних і тих же узагальнених змінних-критеріїв подібності гідрогазодинамічних процесів, на основі яких складають критеріальні рівняння для вирішення тих чи інших завдань гідрогазодинаміки [15].

Це дає підставу використовувати досить формальний, але більш простий спосіб подібного перетворення диференціальних рівнянь, який полягає в наступному: критерії подібності знаходять, ділячи одну частину рівняння на іншу і відкидаючи знаки математичних операторів. Наприклад, для рівняння Нав'є-Стокса (2.11) таке перетворення зведеться до наступного:

$$\frac{\partial w_z}{\partial \tau} \sim \frac{w}{\tau}; \quad (w_x \frac{\partial w_z}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_z}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_z}{\partial z}) \sim \frac{w^2}{l}; \quad \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} \sim \frac{\rho}{\rho l}; \quad v \nabla^2 w_z \sim \frac{vw}{l^2}. \quad (2.40)$$

2.3 Розробка математичної моделі врахування газодинамічної теорії при калібруванні турбінних лічильників газу.

Сьогодні можливість калібрування і повірки ЗВТ в експлуатаційних умовах зустрічається дуже рідко. Виникає потреба проводити калібрування із пристосуванням до конкретних умов. Запропоновано вирішити цю проблему скориставшись гідрогазодинамічною теорією подібності, враховуючи при цьому конструктивні особливості лічильника.

Для отримання конкретного результату потрібно користуватись умовою рівності витрати та основою теорії подібності, що визначається такими моментами:

- геометричною подібністю, тобто подібністю поверхонь взаємодії між моделями, що розглядаються, та середовищем;
- фізичною подібністю середовища, тобто подібністю полів та фізичних констант;
- подібністю граничних умов, що визначаються подібністю початкових та граничних умов;
- рівністю визначальних критеріїв.

Для турбінних лічильників, які широко використовують у процесі обліку природного газу, під час визначення критеріїв подібності центральне місце посідає характеристика режиму течії безпосередньо на профілі турбіни, яка є чутливим елементом лічильника. Збереження подібності передбачає рівність не тільки відносних однойменних фізичних величин в обох потоках, але й будь-яких безрозмірних комплексів, складених на їх основі [4].

Під час проведення аналізу розмірностей, а також для визначення динамічної подібності між різними експериментальними випадками руху потоку у задачах гідрогазодинаміки використовують число Рейнольдса. Число Рейнольдса – безрозмірне число, яке залежить від швидкості потоку газу, характерного лінійного розміру та властивостей газу [4]. Для газу з густиною ρ і динамічною в'язкістю μ , що протікає через поперечний переріз діаметром D зі швидкістю v , число Рейнольдса Re визначаємо таким чином:

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} . \quad (2.41)$$

Запишемо формулу розрахунку числа Рейнольдса для природного газу:

$$Re_{пр.газу} = \frac{\rho_{пр.газу} v D}{\mu_{пр.газу}} . \quad (2.42)$$

Запишемо формулу розрахунку числа Рейнольдса для повітря:

$$Re_{повітря} = \frac{\rho_{повітря} v D}{\mu_{повітря}} . \quad (2.43)$$

Головною відмінністю між повітрям та природним газом є в'язкість середовища та його густина. Значення відношення Re повітря/ Re пр. газу показує, що при атмосферному тиску за однакової швидкості потоку значення числа Рейнольдса повітря на 11,5 % вище, ніж природного газу. Зі зростанням тиску відмінність між повітрям та природним газом зменшується. Розглядаючи значення числа Рейнольдса для різних калібрувальних середовищ за рівних тисків калібрування, можемо дійти висновку, наскільки вони, а відтак, і покази лічильника, калібровані на природному газі або повітрі без дотримання умови подібності, будуть різнитися (табл.2.1) [21].

На рисунку 2.1 показано залежність відношення чисел Рейнольдса для повітря і природного газу від тиску при температурі 20 °С.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1

Порівняння калібрувальних середовищ (20 °C)

Середовище	Природний газ			Повітря			Відношення
Тиск, бар(а)	ρ , кг/м ³	μ , мкПа·с	Re*	ρ , кг/м ³	μ , мкПа·с	Re*	Re повітря/ Re пр. газу
1,01325	0,6812	11,095	26236	1,20416	17,587	29256	1,115
9	6,2230	11,203	237347	10,86983	17,696	262461	1,106
21	14,8455	11,400	556427	25,45704	17,887	608118	1,093
50	37,2545	12,067	1319158	60,95595	18,468	1410308	1,069

* Число Рейнольдса розраховано для витрати середовища $Q=1000 \text{ м}^3/\text{год}$ та номінального діаметра DN 200.

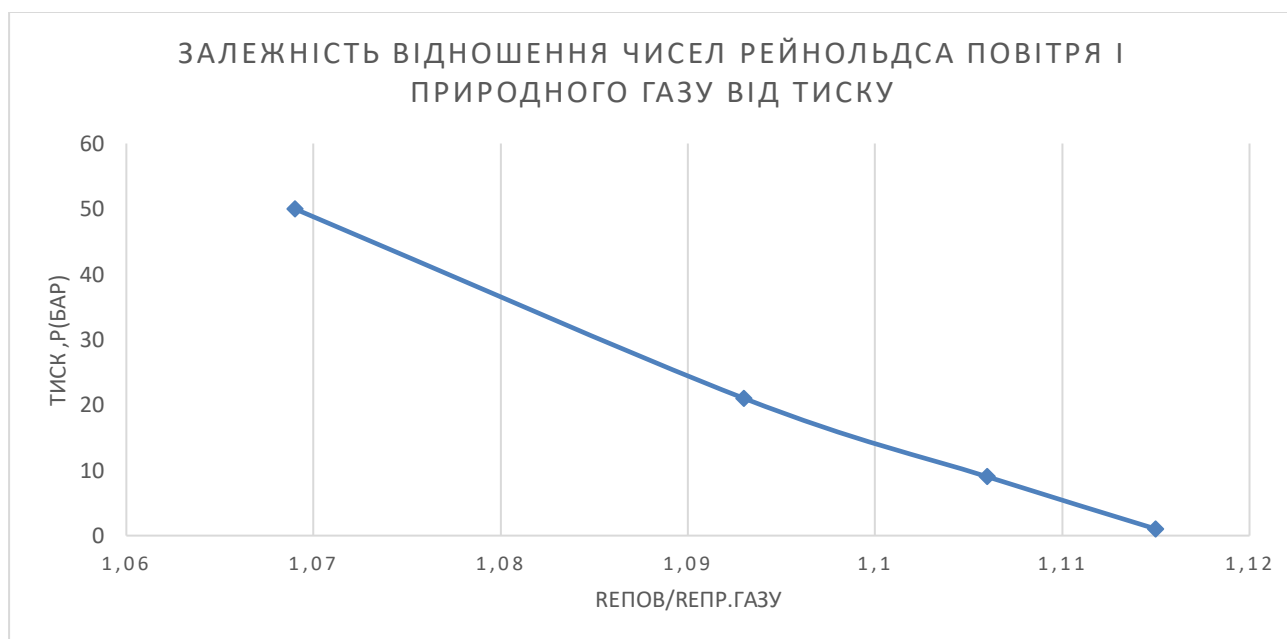


Рисунок 2.1 – Залежність відношення чисел Рейнольдса від тиску

Концепція динамічної подібності визначає, що при умові рівних чисел Рейнольдса потоків тіло в них піддаватиметься аналогічним впливам середовища.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У випадку з турбінним лічильником мова йде про однакову швидкість обертання турбіни в потоці.

На рисунку 2.2 показано залежність чисел Рейнольдса для повітря та природного газу від тиску.

Порівняння чисел Рейнольдса для повітря і природного газу табл 2.2

Витрата Q, м ³ /год	Re для повітря	Re для газу
12	3300,8	1928,56
42	10849,3	6482,2
74	18564,5	10835,75
103	26208,5	15230,35
136	33850,02	19745,13
160	40714,05	23753,56
185	45996,25	27010,46

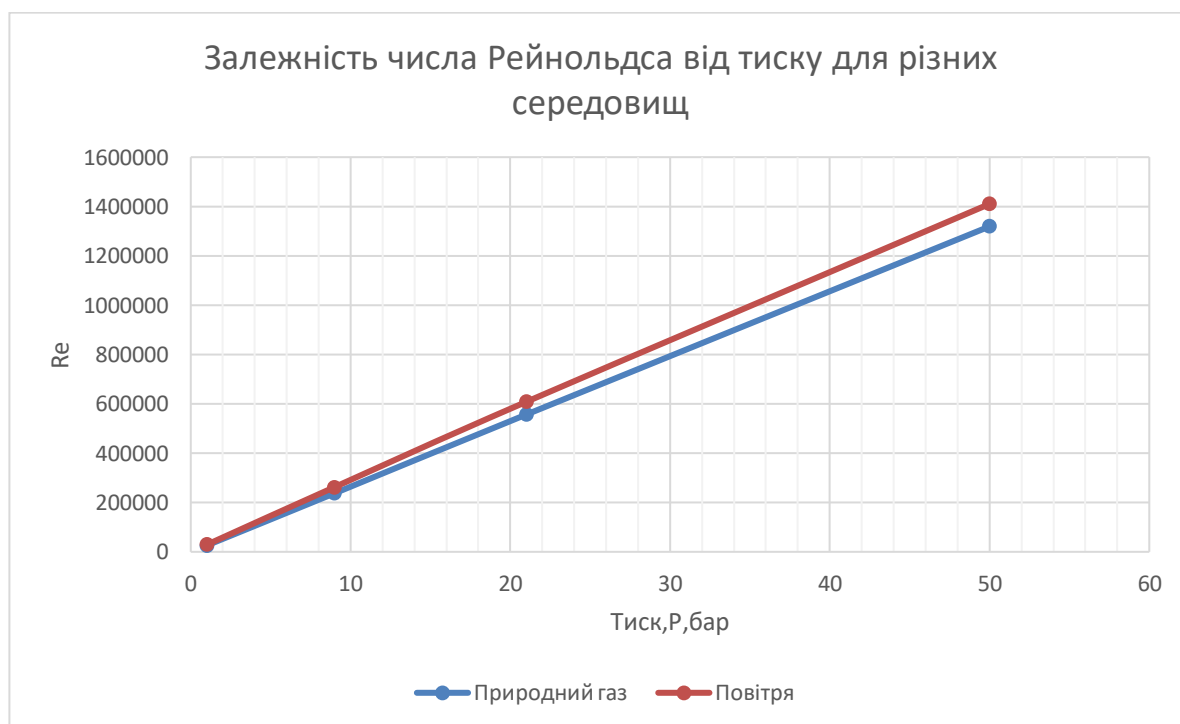


Рисунок 2.2 – Залежність чисел Рейнольдса від тиску

Тому задачею стоїть розробка комплексного критерію газодинамічного процесу. В подальшому можливість введення його в програму повірки та калібрування. Суть підходу в тому щоб виконувати калібрування за робочого середовища – повітря, враховувати комплексний критерій і в подальшому використовувати на природному газі.

Якщо ми говоримо про дослідження одного і того ж лічильника на двох різних середовищах то ми бачимо, що густина газу $\rho_{газу} = 0.7 \text{ кг/м}^3$, а густина повітря $\rho_{повітря} = 1.2 \text{ кг/м}^3$; $\mu_{повітря} = 18.27 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$, $\mu_{пр.газу} = 10.92 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$. Так як $Re_{повітря} > Re_{пр.газу}$

Тому приходимо до висновку, що потрібно змінювати швидкість потоку для зменшення невідповідності робочих середовищ.

Запишемо формулу рівності чисел Рейнольдса для двох середовищ.

$$\frac{\rho_{повітря} v_{повітря} D}{\mu_{повітря}} = \frac{\rho_{пр.газу} v_{пр.газу} D}{\mu_{пр.газу}}. \quad (2.44)$$

Для зменшення невідповідності підберемо необхідну величину швидкості при якій будемо проводити калібровку.

$$v_{повітря} = \frac{\rho_{пр.газу} \cdot v_{пр.газу} \mu_{повітря}}{\mu_{пр.газу} \rho_{повітря}}. \quad (2.45)$$

Таким чином можна буде зменшити невідповідність середовищ.

2.4 Висновки до розділу 2

Калібрування або повірку лічильників газу можна проводити на робочому середовищі, відмінному від середовища його експлуатації, за умови газодинамічної подібності (однакових значень числа Рейнольдса). Цього можна досягти шляхом

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

варіації величини тиску робочого середовища калібрування за сталої або однакової витрати.

Для отримання коректних результатів калібрування робочого засобу вимірювання з геометричними розмірами, що відрізняються від розмірів еталонних лічильників, необхідно користуватися умовою рівності сумарної масової витрати (закон збереження маси для усталеного режиму руху реального газу) та умовами газодинамічної теорії подібності .

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ANSYS

Так як зараз дуже дорогі паливно енергетичні ресурси, то важливе місце займають комп'ютерно – інтегровані технології. Вони дозволяють вирішувати велике коло задач в різних галузях віртуальним способом, не затрачуючи при цьому ресурси. Сьогодні більшість спеціалістів використовує такі методи, проводить аналіз та дослідження, які допоможуть спрогнозувати властивості, склад і поведінку речовини. Це не тільки економить ресурси а і час.

3.1 Особливості ANSYS технології

Компанія ANSYS, Inc. продовжує виконувати роль новатора в області обчислювальних технологій. Вона першою реалізувала такі нововведення, як виконання аналізу на персональному комп'ютері (PC), інтегрований засіб вирішення завдань гідроаеродинаміки (CFD) і багатоцільовий пакет для вирішення складних проблем фізики і механіки. Фірма ANSYS, Inc. інвестує дослідні роботи і подальший розвиток компанії, гарантуючи своїм клієнтам безперервне поповнення програмних засобів з маркою ANSYS, незмінно відповідають їх інженерним запитам.

Компанія ANSYS, Inc. слідує підходу до проектування і виробництва виробів, який спирається на розрахунок, будується з прив'язкою до аналізу і дозволяє уникнути дорогих і тривалих циклів розробки типу «робити-ламати». У тривалому і багатосторонньому процесі проектування аналіз, який ведуть постійно, використовується на всіх стадіях розробки. В якості стратегічного партнера фірма співпрацює з іншими компаніями, допомагаючи їм провести необхідні зміни і зберегти першість в конкурентній боротьбі. Пропоновані фірмою ANSYS кошти чисельного моделювання і аналізу зручні для користувача, сумісні з іншими пакетами, працюють на різних платформах і дозволяють вирішувати пов'язані завдання механіки і фізики. В даний час програма ANSYS являє собою

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

багатоцільовий пакет проектування і аналізу, визнаний у всьому світі. Перша реалізація програми значно відрізнялася від останніх її версій і стосувалася тільки рішення задач теплопередачі і міцності в лінійній постановці. Як і більшість інших програм того часу, вона працювала в пакетному режимі і лише на «великих» машинах. На початку 70-х років в програму було внесено багато змін в зв'язку з впровадженням нової обчислювальної технології та реалізацією запитів користувачів. Були додані нелінійності різної природи, з'явилася можливість використовувати метод підконструкцій, була розширена бібліотека кінцевих елементів. компанія звернула увагу на що з'явилися в той час мінікомп'ютери і векторні графічні термінали. Протягом декількох років ці нові апаратні засоби були освоєні програмними розробками фірми, породивши нову еру комп'ютерного рішення інженерних задач.

В кінці 70-х істотним доповненням до програми ANSYS з'явився інтерактивний режим роботи. Це значно спростило процедури створення кінцево-елементної моделі і оцінку результатів. Стало можливим використовувати інтерактивну графіку для перевірки геометрії моделі, заданих властивостей матеріалу і граничних умов перед початком рахунку. Графічна інформація могла бути відразу ж виведена на екран для інтерактивного контролю результатів рішення. Сьогодні ANSYS - це надзвичайно потужна і зручна програма. Кожна її версія включає нові і розширює колишні можливості пакета, що робить програму швидкодіючою, більш гнучкою і зручною. Ці її якості допомагають користувачам впоратися з безперервно зростаючими запитами сучасного промислового виробництва.

3.2 Результати моделювання за допомогою програми ANSYS

Проведемо моделювання турбінного витратоміра з різними середовищами за атмосферного тиску.

Номінальний діаметр, $D_n = 0.2$ м.

Абсолютний тиск, $P = 0.101325$ Мпа.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Температура середовища $T=25^{\circ}\text{C}$.

Розрахуємо площу поперечного перерізу:

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 0.2^2}{4} = 0.0314 \text{ м}^2 \quad (3.1)$$

Проведемо моделювання за двох різних середовищ СН4- ідеальний газ, та повітря.

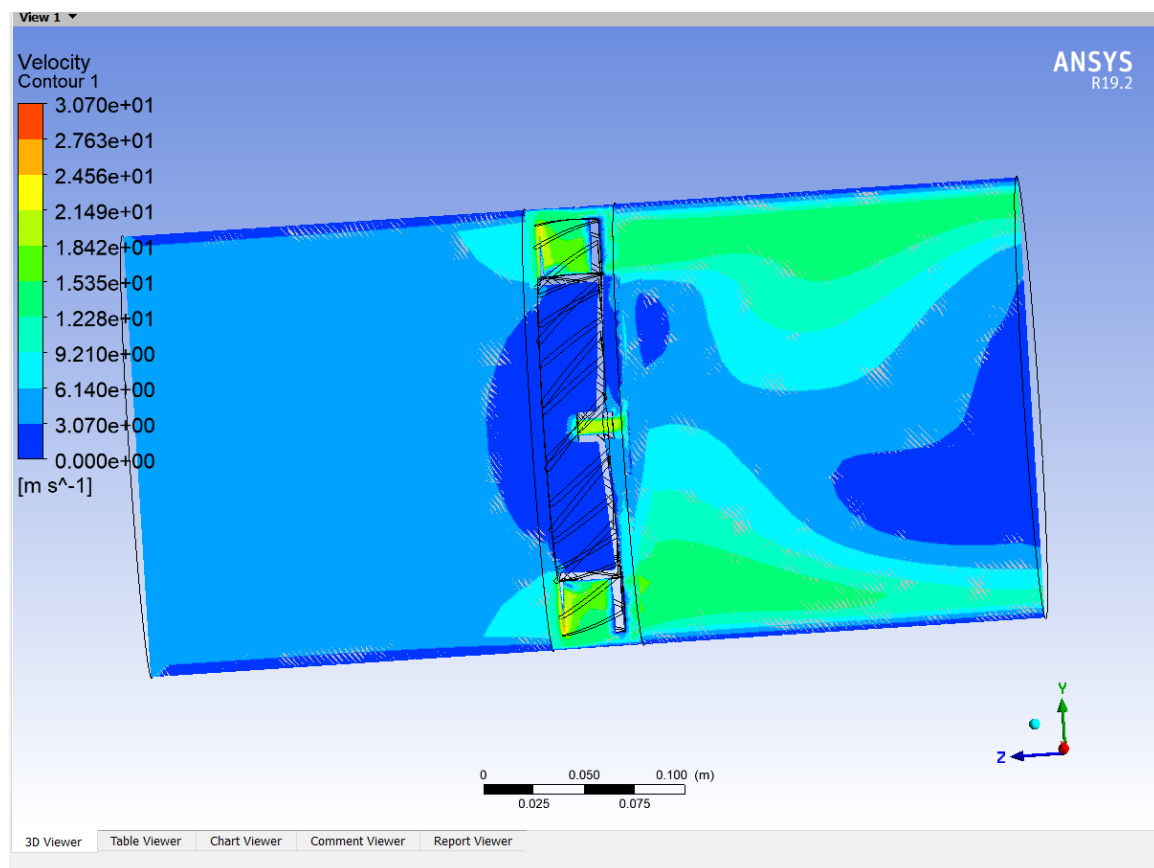


Рисунок 3.1 – Вектор швидкості в турбінному витратомірі при середовищі – СН4,
 $v=5 \text{ м/с}$.

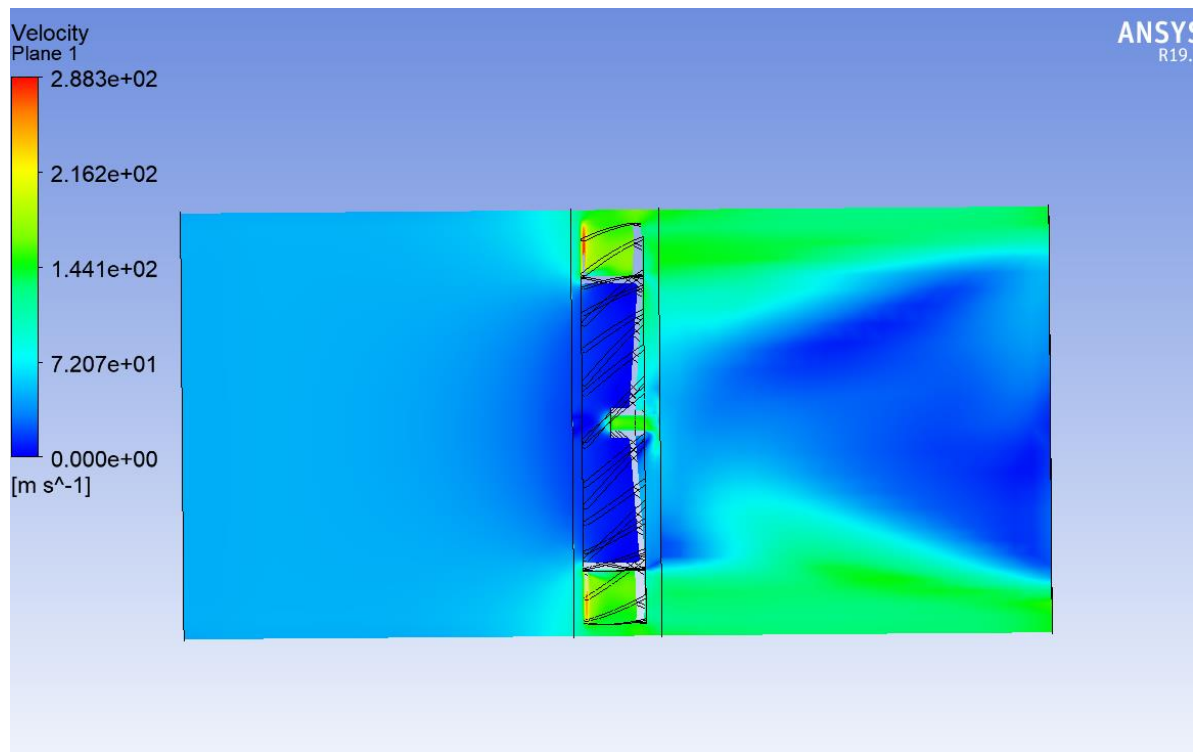


Рисунок 3.2 – Вектор швидкості в турбінному витратомірі при середовищі – СН4,
 $v=50$ м/с.

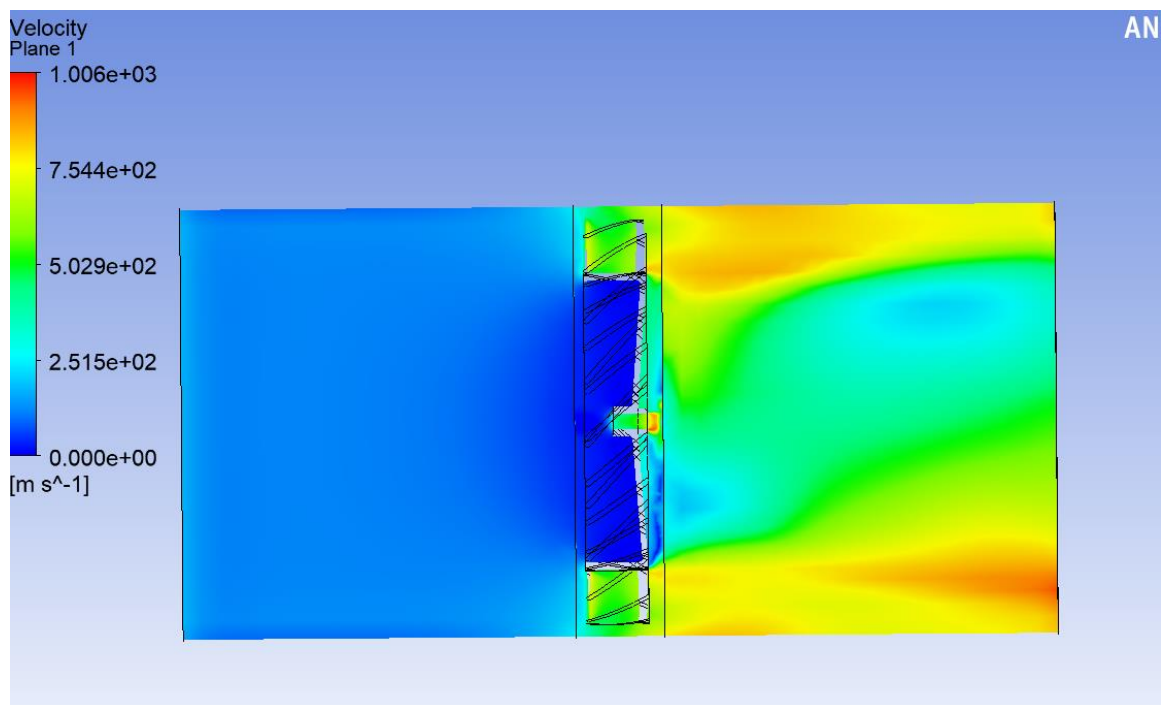


Рисунок 3.3 – Вектор швидкості в турбінному витратомірі при середовищі – СН4,
 $v=200$ м/с.

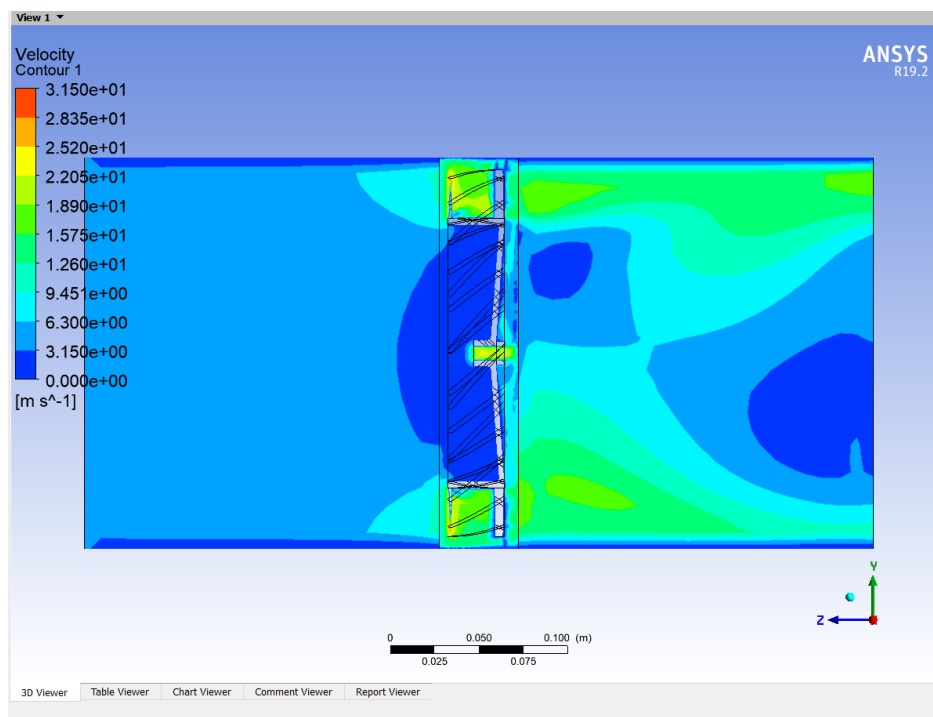


Рисунок 3.4 – Вектор швидкості в турбінному витратомірі при середовищі – повітря, $v=5$ м/с.

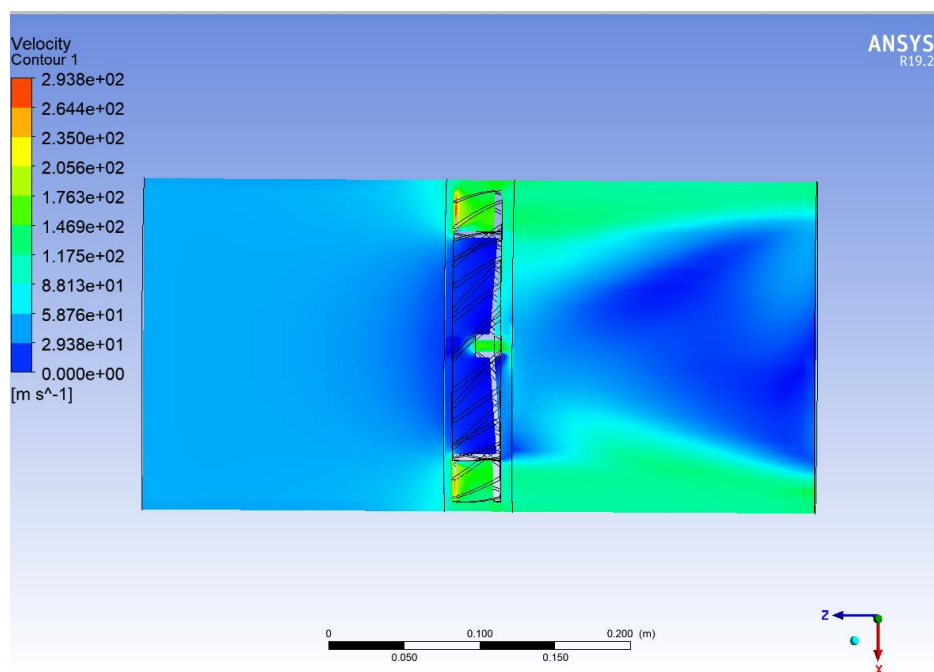


Рисунок 3.5 – Вектор швидкості в турбінному витратомірі при середовищі – повітря, $v=50$ м/с.

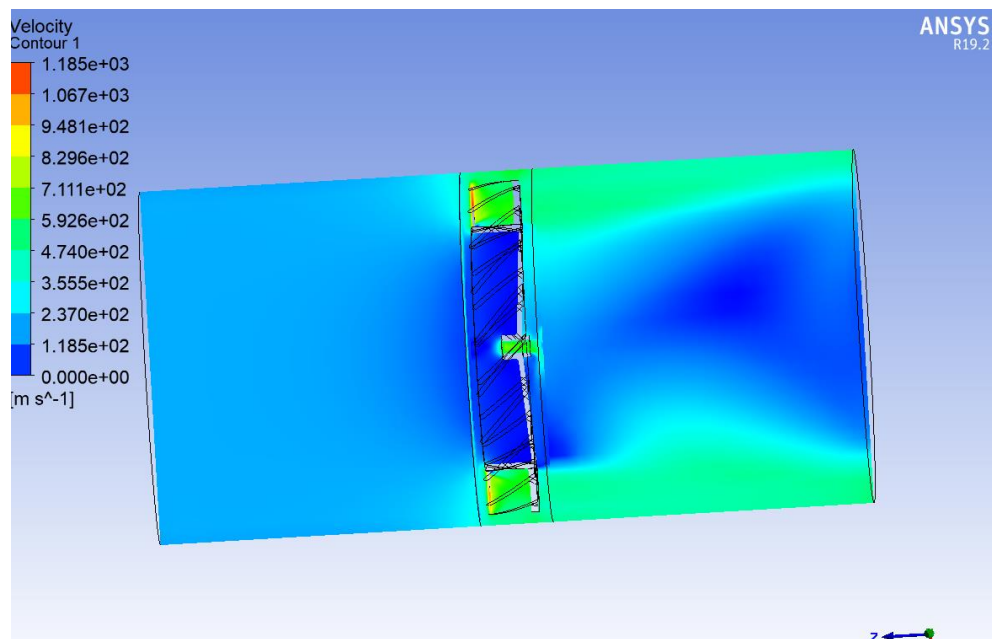


Рисунок 3.6 – Вектор швидкості в турбінному витратомірі при середовищі – повітря, $v=200$ м/с.

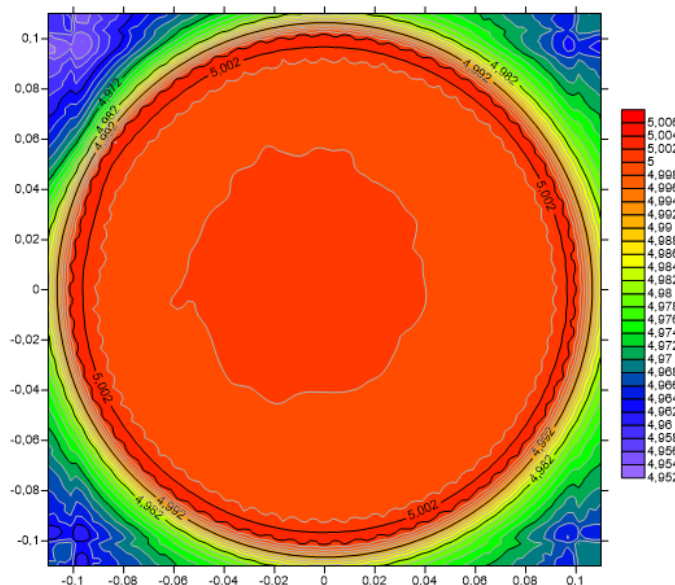


Рисунок 3.7 – Розподіл швидкостей на вході в лічильник (середовище повітря) $v=5$ м/с

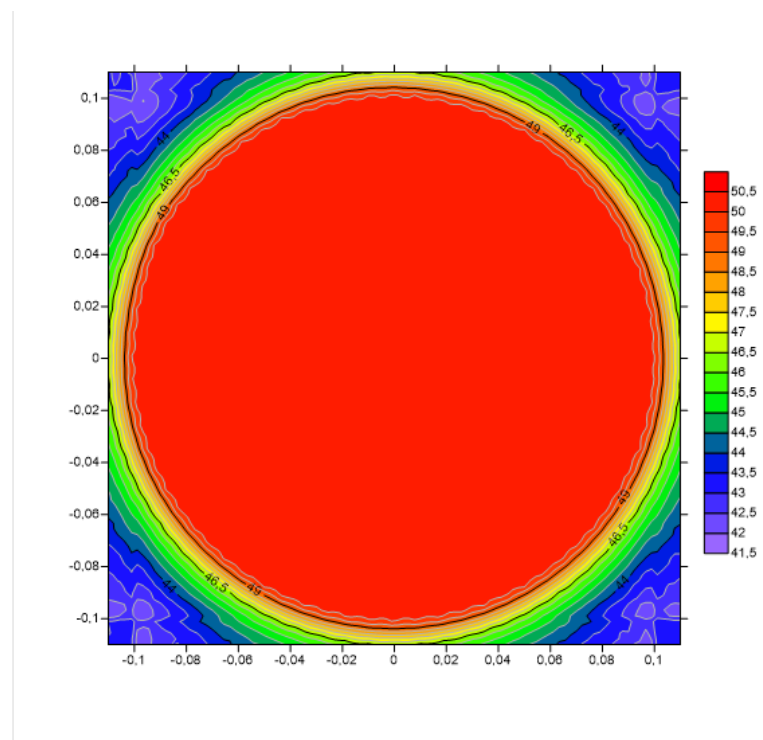


Рисунок 3.8 – Розподіл швидкостей на вході в лічильник (середовище повітря) $v = 50$ м/с

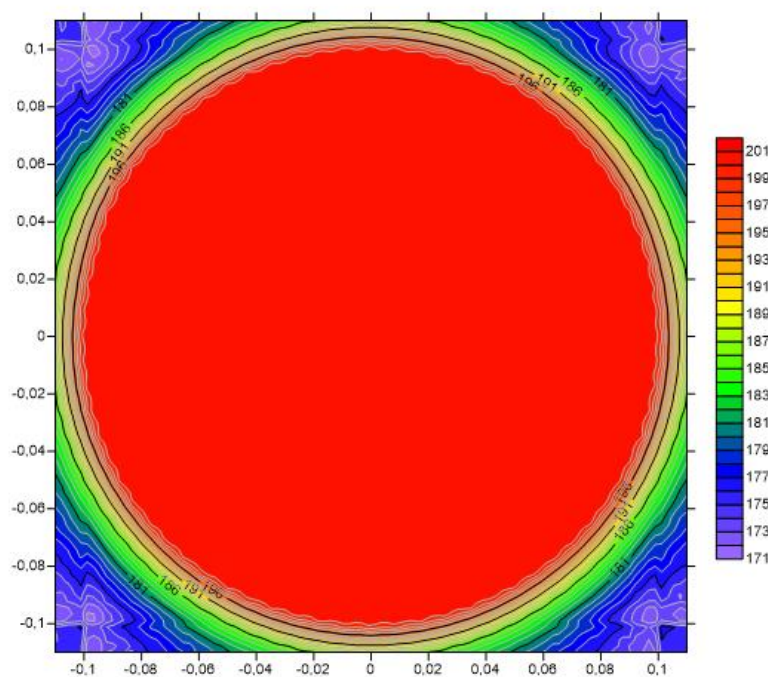


Рисунок 3.9 – Розподіл швидкостей на вході в лічильник (середовище повітря) $v = 200$ м/с

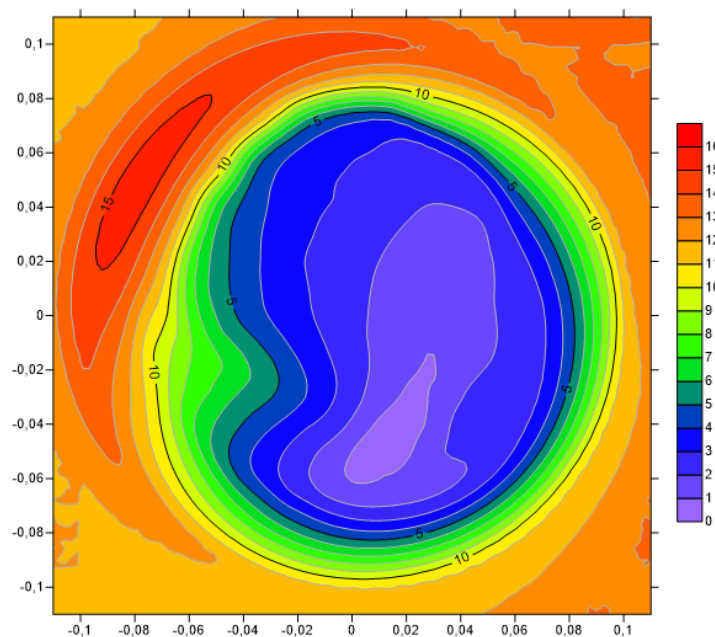


Рисунок 3.10 – Розподіл швидкостей на виході з лічильника (середовище повітря)
 $v=5$ м/с

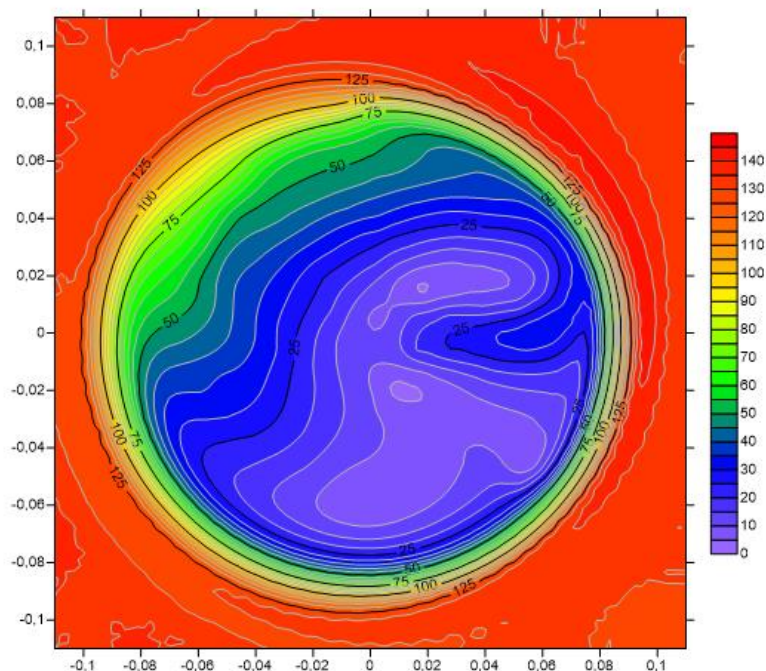


Рисунок 3.11 – Розподіл швидкостей на виході з лічильника (середовище повітря)
 $v=50$ м/с

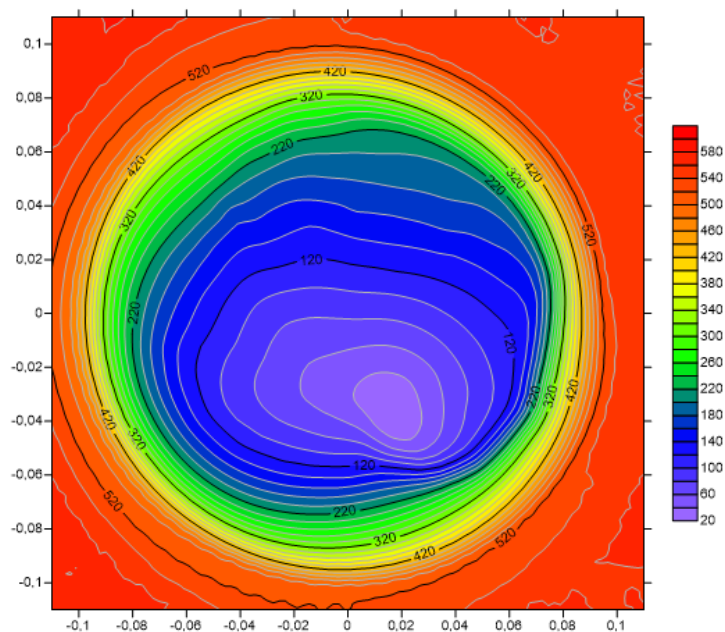


Рисунок 3.12 – Розподіл швидкостей на виході з лічильника (середовище повітря)
 $v=200$ м/с

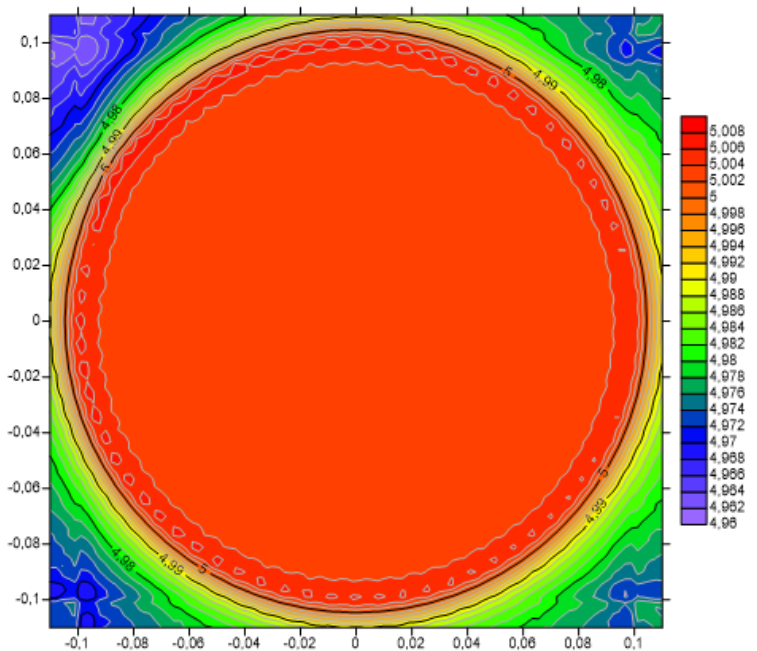


Рисунок 3.13 – Розподіл швидкостей на вході в лічильник (середовище СН4)
 $v=5$ м/с

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ

Арк.

76

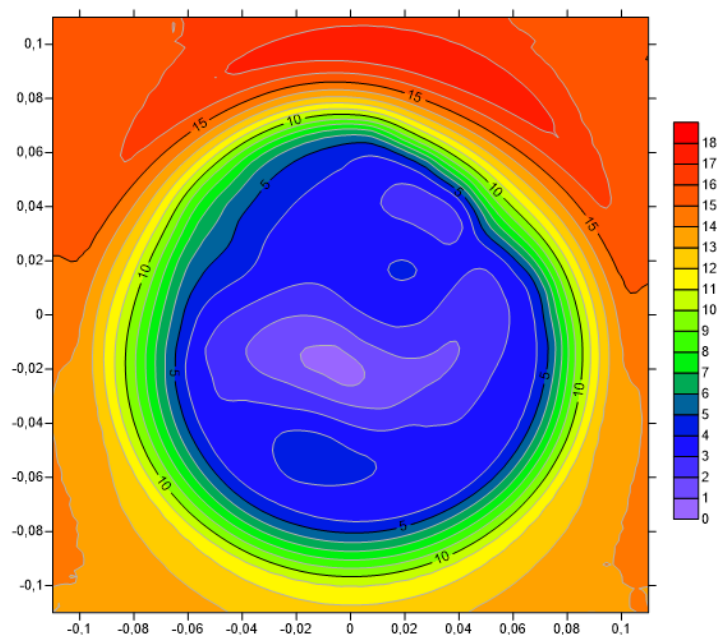


Рисунок 3.14 – Розподіл швидкостей на виході з лічильника (середовище СН4)

$$v=5 \text{ м/с}$$

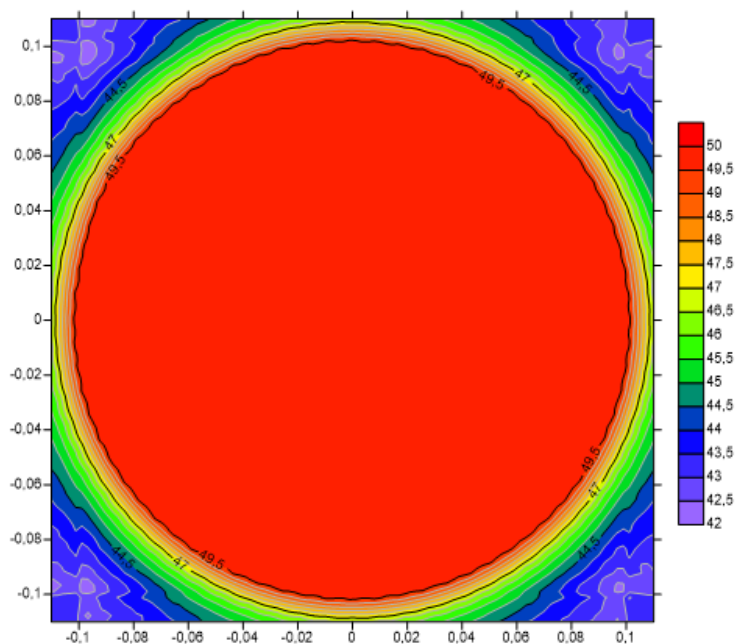


Рисунок 3.15 – Розподіл швидкостей на вході в лічильник (середовище СН4)

$$v=50 \text{ м/с}$$

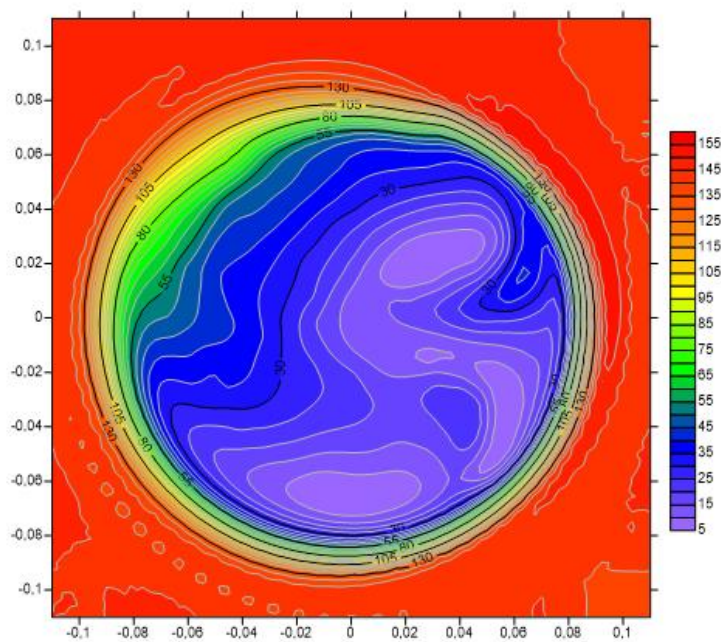


Рисунок 3.16 – Розподіл швидкостей на виході з лічильника (середовище СН4)

$v=50$ м/с

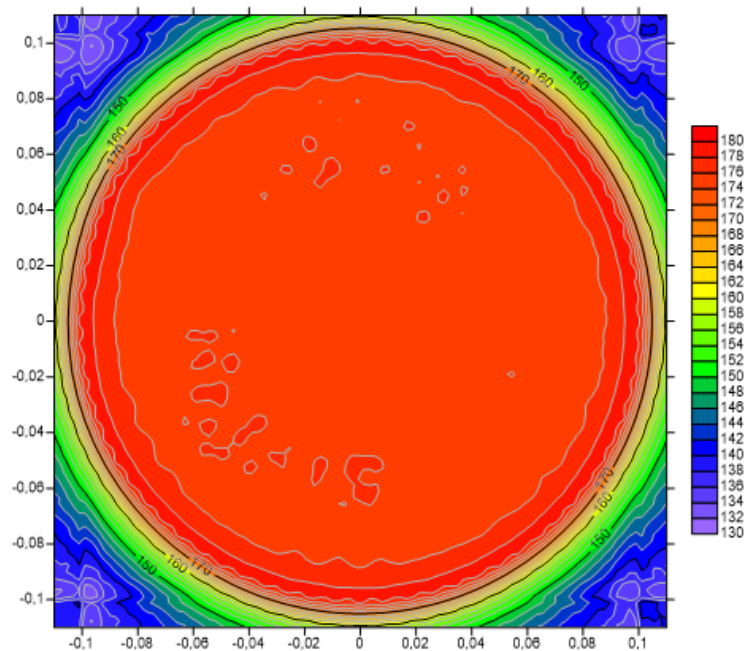


Рисунок 3.17 – Розподіл швидкостей на вході в лічильник (середовище СН4)

$v=200$ м/с

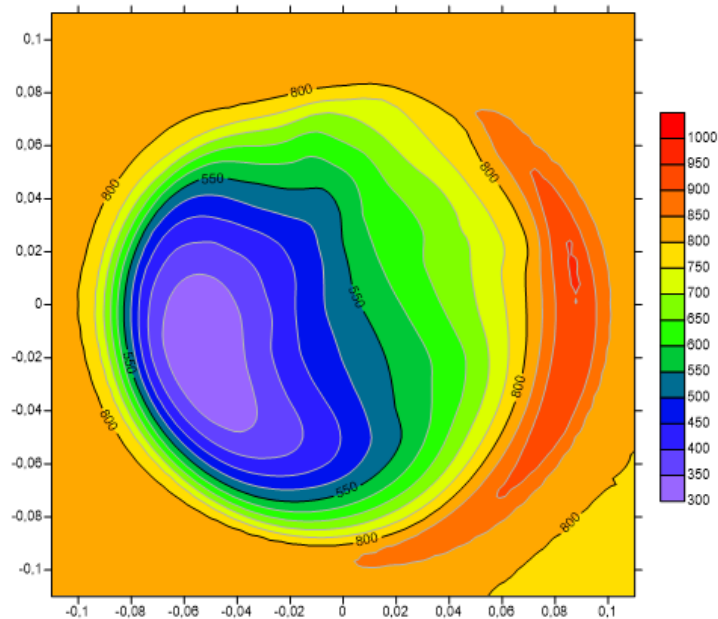


Рисунок 3.18 – Розподіл швидкостей на виході з лічильника (середовище СН4)
 $v=200$ м/с

Після проведення моделювання можна розрахувати значення похибки від витрати для різних середовищ.

На рисунку 3.19 показано графік залежності похибки від витрати для повітря

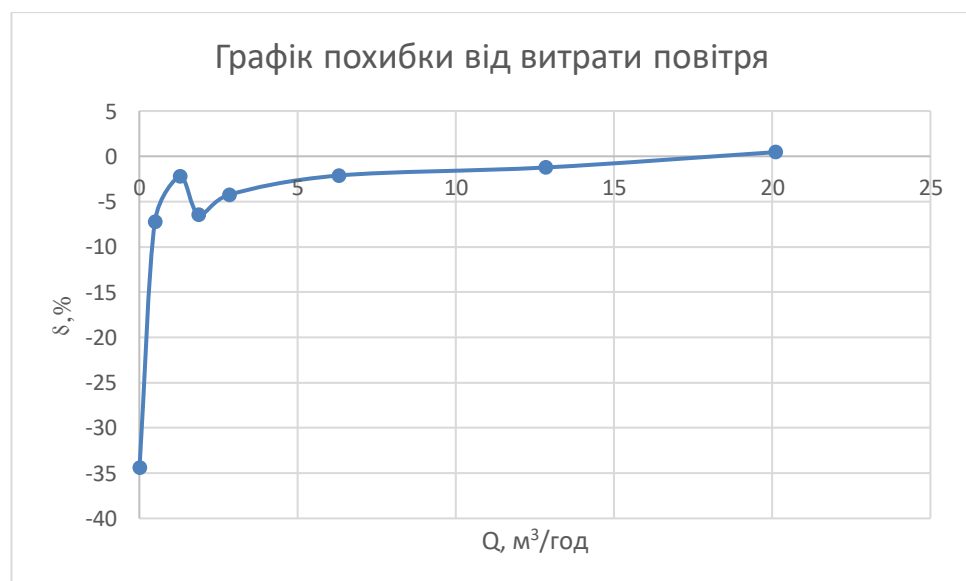


Рисунок 3.19 – Похибка від витрати для повітря.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ

Арк.

79

На рисунку 3.20 показано графік залежності похибки від витрати для природного газу.



Рисунок 3.20 – Похибка від витрати для природного газу

Також покажемо порівняння цих двох середовищ (рис. 3.21)

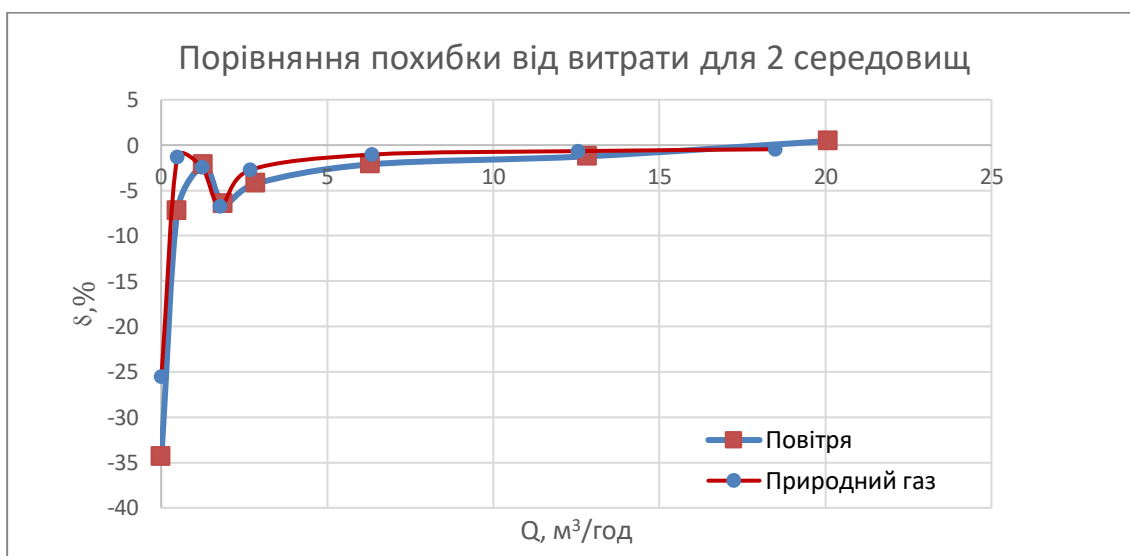


Рисунок 3.21 – Порівняння двох середовищ (похибка від витрати)

З цих рисунків видно, що між змодельованими середовищами є деяка різниця. Згідно з теорією гідрогазодинамічної подібності за однакових чисел Рейнольдса для різних потоків один і той самий чутливий елемент (ЧЕ), який занурено у вимірюваний потік, піддаватиметься наближенню однаковим впливам робочого

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

середовища. Із цього випливає припущення щодо однакової кутової швидкості його обертання ω внаслідок однакової відносної кінетичної енергії плин у газу.

У загальному випадку число Рейнольдса характеризує відношення сил інерції потоку до гальмівних сил, а відтак, обчислене для перерізу вимірювальної камери, залежить від впливу гідрогазодинамічного впливу ЧЕ. Отже за визначення числа Рейнольдса для конкретного турбінного лічильника, як характерний лінійний розмір необхідно враховувати аеродинамічний профіль ЧЕ(кількість та кут атаки лопатей, зовнішній та внутрішній радіус турбіни), параметри випрямляча потоку і т.д. Так як жодним з виробників не надаються вище зазначені параметри, а їх обчислення залишається неможливим тому за реальних досліджень обчислення числа Рейнольдса являється складним завданням. Обов'язкові до врахування також гальмівні моменти протидії, зумовлені не лише параметрами конструкції конкретного лічильника (тертям у підшипниках, моментом опору відлікового механізму) але й газодинамічними властивостями вимірюваного середовища. Зважаючи на викладене вище, маємо ще одне завдання, що полягає у визначенні мінімального значення витрати (нижньої межі динамічного вимірювального діапазону) за параметрів вимірюваного середовища, відмінних від тих за яких проведено калібрування. Практичні дослідження довели, що нижня межа вимірювального діапазону є змінною характеристикою і різниться залежно від вимірюваного середовища і робочого тиску.

3.3 Висновки до розділу 3

У розділі 3 за допомогою програми Ansys було проведене модулювання турбінного витратоміра. Моделювання проводилось із заданням різних робочих середовищ – повітря та природний газ.

З отриманих графіків та карт бачимо що між змодельованими середовищами є деяка невідповідність. Це означає, що якщо проводити калібрування та використання лічильника за різних середовищ потрібно враховувати цю невідповідність, використовуючи при цьому гідрогазодинамічну теорію.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТУРБІННОГО ЛІЧИЛЬНИКА ГАЗУ

4.1 Аналіз стану проблеми при повірці і калібруванні лічильників газу

На сьогоднішній день виникає багато питань щодо точності та правильності роботи того чи іншого лічильника. Проблема полягає в тому що виробники активно створюють лічильники та витратоміри природного газу, але при повірці та калібруванні цих приладів не використовують критерії подібності. Так як лічильники калібрують на одному середовищі а експлуатують на іншому виникає невідповідність і похибка. В Україні на сьогодні немає достатньої кількості центрів та ресурсів для того, щоб проводити повірку чи калібрування на природному газі.

Тому важливою задачею є використання гідрогазодинамічної теорії та критеріїв подібності при калібруванні та повірці лічильників газу.

4.2 Дослідження похибки турбінного витратоміра IGTM

На підприємстві ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ» було проведено дослідження та аналіз відмінностей характеристик робочого середовища за результатом калібрування турбінного лічильника IGTM (рис.4.1)

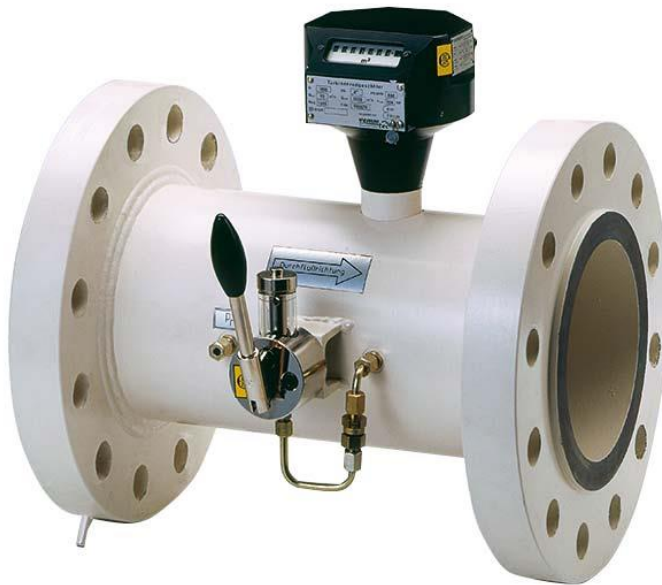


Рисунок 4.1 – Турбінний лічильник газу IGTM

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Технічні характеристики лічильника наведено в таблиці 4.1

Таблиця 4.1

Модель	IGTM
Номінальний діаметр	DN 100
Мінімальна витрата Q_{\min}	32
Максимальна витрата Q_{\max}	650
Діапазон температур	-30°...+55° С
Максимальний тиск	До 100 бар

Результати калібрування за різних витрат на повітрі для IGTM табл 4.2

Таблиця 4.2

Діапазон витрати	Витрата	Похибка
$1Q_{\max}$	649,5	0,04
$0.7 Q_{\max}$	456,4	0,03
$0.4 Q_{\max}$	260	-0,28
$0.25 Q_{\max}$	161,3	-0,42
$0.1 Q_{\max}$	65,2	0,46
$0.05 Q_{\max}$	31,8	0,46

На рисунку 4.2 наведено графік калібрування лічильника IGTM на повітрі.

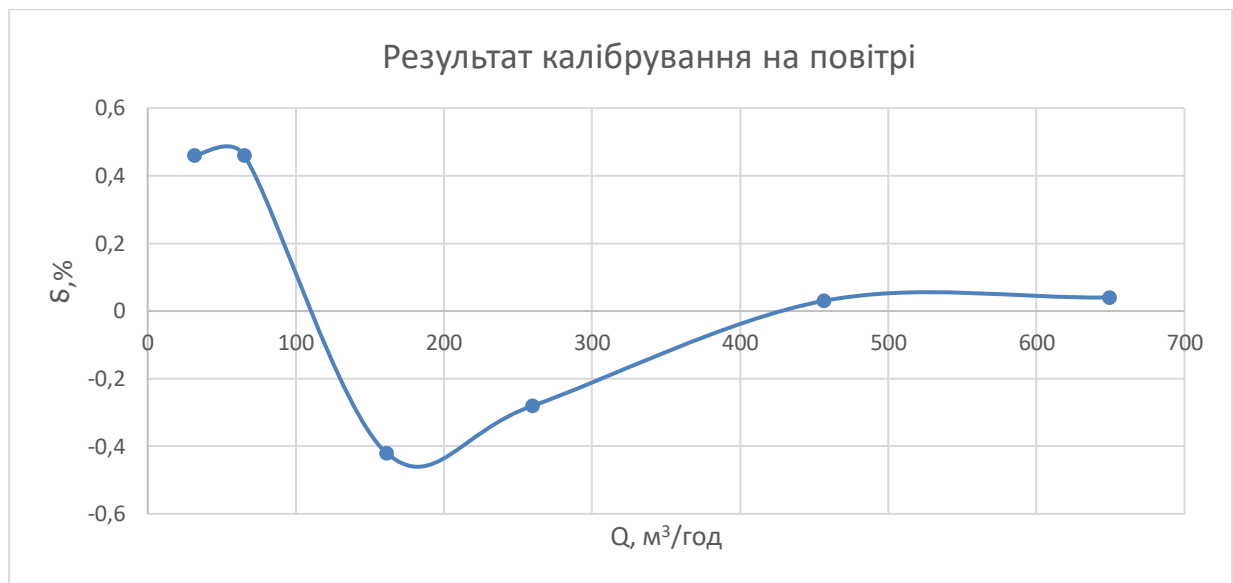


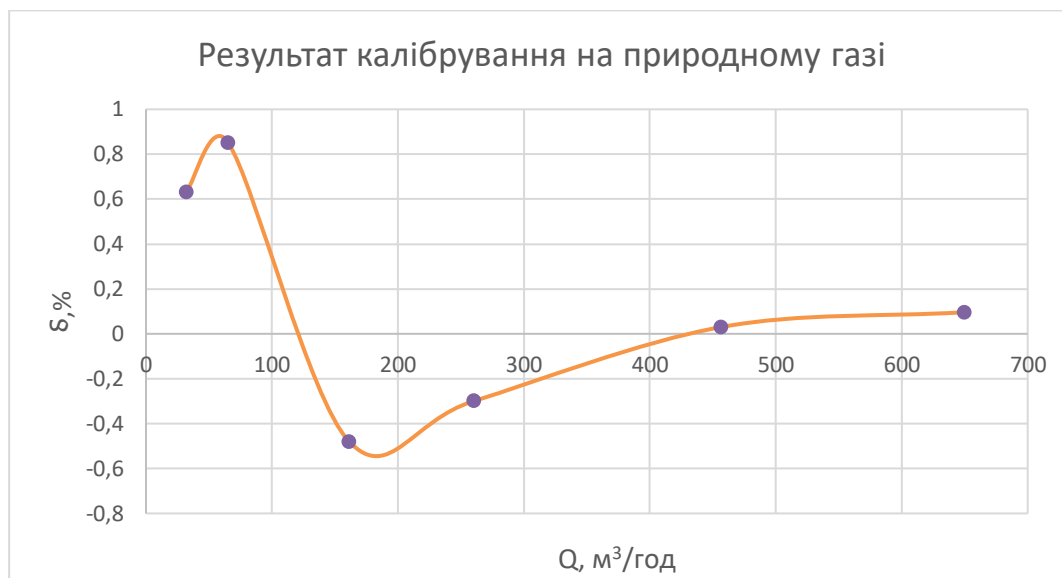
Рисунок 4.2 – Результат калібрування IGTM на повітрі

Результати калібрування за різних витрат на природному газі для IGTM табл 4.3

Таблиця 4.3

Діапазон витрати	Витрата	Похибка
$1Q_{\max}$	649,5	0,052
$0.7 Q_{\max}$	456,4	0,03
$0.4 Q_{\max}$	260	-0,3
$0.25 Q_{\max}$	161,3	-0,48
$0.1 Q_{\max}$	65,2	0,62
$0.05 Q_{\max}$	31,8	0,63

На рисунку 4.3 наведено графік калібрування лічильника IGTM на природному газі.



Та наведемо порівняння калібрування на повітрі та природному газі (рис. 4.4)

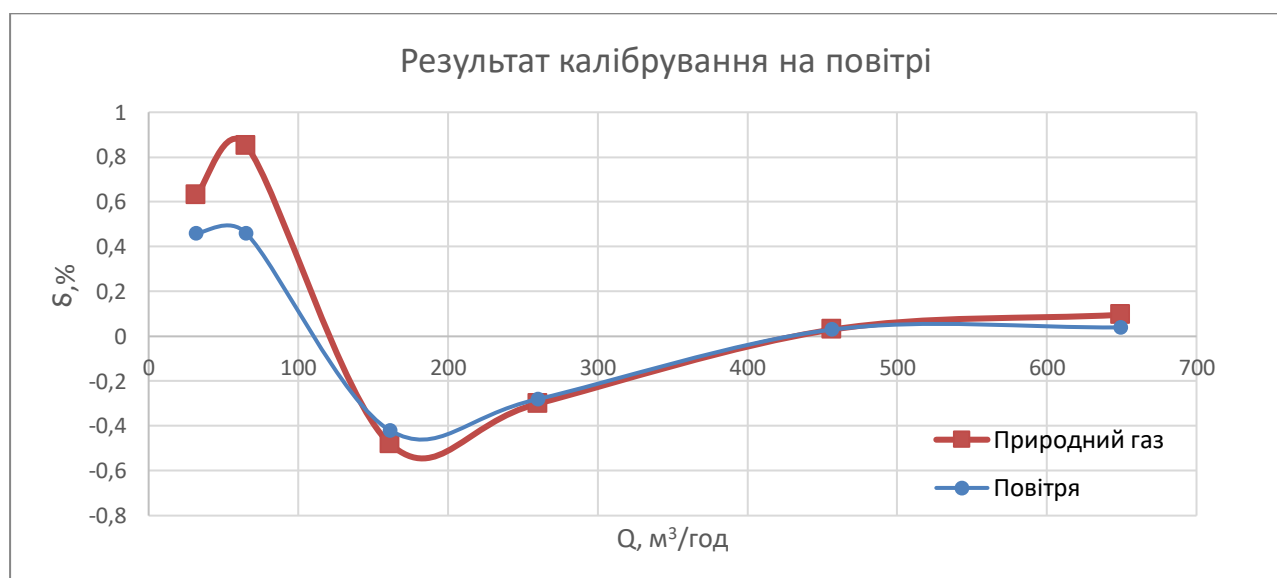


Рисунок 4.4 – Порівняння результатів калібрування

При порівнянні з графіків видно, що між середовищами існує відмінність. Тому при калібруванні лічильника на повітрі а використанні на природному газі буде виникати похибка.

4.3 Висновки до розділу 4

У розділі 4 було проведено експериментальне дослідження та обробку даних при калібруванні турбінного лічильника IGTМ на повітрі та природному газі. З отриманого результату можна зробити, що існує невідповідність характеристик середовищ, тому якщо калібрувати і експлуатувати лічильник з різними середовищами потрібно користуватись гідрогазодинамічною теорією та критеріями подібності, для зменшення впливу невідповідності.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ВІДМІННОСТЕЙ ПРИ КАЛІБРУВАННІ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ»

5.1 Опис ідеї проекту

В даному розділі описано метод вдосконалення повірки та калібрування лічильників газу, за рахунок врахування відмінностей характеристик робочих середовищ – природного газу та повітря.

На сьогодні процес калібрування та повірки лічильників газу є невід’ємною частиною їх роботи. Але так як працюють лічильники за робочого середовища- природний газ, а повіряють і калібрують їх на робочому середовищі- повітря, виникає необхідність розробки повірочного стенду на основі використання комплексного критерію подібності.

Повірочний стенд буде актуальним державних та приватних підприємств, наукових лабораторій, які виконують повірку та калібрування лічильників газу.

Ідея проекту полягає в створенні системи, яка виконує повірку чи калібровку за повітря, враховуючи при цьому відмінності робочих середовищ, використовуючи критерії подібності та гідрогазодинамічну теорію.

Побудова морфологічної карти на якій показані варіанти можливих рішень табл 5.1.

Таблиця 5.1

Морфологічна карта проекту

Основні параметри	Проміжні рішення		
	1	2	3
Температура	Просте приєднання до наружної стінки труби	Створення ґрундбукси для герметичного та надійного з’єднання	Система вихроструменевих датчиків

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

Тиск	Приєднання до наружної стінки труби	Залишити датчики тільки в еталонах	Система вихроструменевих датчиків
Герметичність	ФУМ	Льон	Силікон
Передача імпульсів	Датчик імпульсів SENSUS	Датчик імпульсів Овен-Си30	Датчик імпульсів HRI- В
Режими роботи	Ручний	Автономний	Об'єднання ручного і автономного режимів

У таблиці 5.2 наведено ідею та можливі базові ринки, в межах яких можна знайти клієнтів.

Таблиця 5.2

Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення системи повірки та калібрування лічильників газу, з використанням робочого середовища – повітря, враховуючи при цьому всі критерії подібності, та підґрунтя гідрогазодинамічної теорії.	Повірка та калібрування лічильників, як для приватних так і для державних підприємств.	Мінімалізація похибки при калібруванні та повірці, автономність, економія часу.
	Використання в лабораторних умовах для дослідження характеристик робочого середовища.	Забезпечення високих умов при дослідженні робочих середовищ, висока герметичність, можливість роботи в різних режимах.

Отож, пропонується нова система, для виконання повірки та калібрування лічильників газу, що забезпечить високу точність, автономність, та мінімалізацію часу, врахувавши при цьому всі коефіцієнти подібності, та визначивши при цьому комплексний критерій подібності.

Далі потрібно проаналізувати переваги ідей потенційних конкурентів:

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо групу конкурентів, що вже існують на ринку та збираємо інформацію про техніко-економічні показники для власної системи.
- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначаємо показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Аква-імпульс	Flagma	Flow-analys			
1.	Вартість базової системи	500000 грн	315000 грн.	450000 грн.	295 000 грн.	+	-	-
2.	Автономність	100%	Приблизно 50%	до 70%	20%	-	-	+
4.	Надійність	Надійна (запобігає виникненню аварійних випадків в системі)	Надійна (при виході з ладу якогось з блоків, система працює)	При відповідних умовах	При відповідних умов	-	-	+
5.	Якість датчиків температури, тиску	Висока якість (інтелект. датчики)	Висока якість	Висока якість	Середня якість	-	-	+
6.	Відстеження процесу повірки в режимі онлайн	Можливо	Не можливо	Не можливо	Не можливо	-	-	+
7.	Універсальність (можливість	Можливо	Не можливо	Не можливо	Не можливо	-	-	+

	використання в лабораторних умовах							
--	------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--

З таблиці видно, що основними перевагами даної системи є: повна автономність, надійність, висока якість датчиків тиску та температури, відстеження процесу повірки чи калібрування онлайн, та можливість універсального застосування в якості лабораторного обладнання. Єдиним недоліком є вища ціна відносно інших систем, але вона нівелюється високоякісними компонентами та програмним забезпеченням системи.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Створення системи, яка робить повірку та калібрування лічильників газу більш простою, доступною, з меншим використанням природних ресурсів, та високою точністю	Розробка компонентів системи та програмного забезпечення на основі Simulink Ansys	Існуюча технологія	Доступна технологія
		Використання готового програмного забезпечення 3dsmax Flow system	Існуюча технологія	Доступна технологія
		Використання готового програмного забезпечення, використання технології CFX Fluent	Існуюча технологія	Доступна технологія
2	Створення безконтактного знімання інформації з датчиків температури та тиску	Розробка ґрунdbufки для датчиків температури, датчики тиску залишити в еталонах	Існуюча технологія	Доступна технологія

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

		Розробка системи на основі вихрострумів датчиків	Існуюча технологія	Доступна технологія
3	Створення захищеності системи та онлайн відстеження процесу калібрування та повірки	Розробка програмного забезпечення на основі DeviceLock	Існуюча технологія	Доступна технологія
		Розробка програмного забезпечення на основі Fail2ban	Існуюча технологія	Доступна технологія
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: «Розробка компонентів системи та програмного забезпечення на основі Simulink Ansys»				

З таблиці 5.4 наглядно видно, що найкращим варіантом є «Розробка компонентів системи та програмного забезпечення на основі Simulink Ansys». Це дасть змогу самому налаштувати систему, врахувавши відмінності робочих середовищ, та використати компоненти які підходять системі найкраще.

Також для безконтактної передачі інформації та дотримання високої точності вимірювання найкращим варіантом буде створення ґрундебукси. Для захищеності системи пропонується використовувати Fail2ban так як його легше зв'язати з Simulink

Побудувавши за допомогою Simulink Ansys нашу систему, можна дослідити її на різність робочих середовищ, вплив зовнішніх та внутрішніх параметрів, налаштувати діапазон похибки та ін.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Потрібно визначити ринкові можливості проекту, які можна використати під час ринкового впровадження, та загрози які можуть завадити його реалізації.

Дослідження ринку дає змогу бачити поведінку споживачів, зробивши аналіз можливостей, які відкриті для підприємства (вихід на міжнародний ринок, розширення переліку послуг, популяризація), вивчити перспективи розвитку окремих систем конкурентів, динаміку цін на дані продукти.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 5.5)

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

Таблиця 5.5

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	багато
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	3000000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відповідність міжнародним стандартам: ГОСТ 8.324-2002 ГСИ
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	75%

Не дивлячись на те, що конкуренція та ринок цього проекту є не високими, рентабельність залишається високою, це дозволяє зробити висновок, що система буде конкурентоспроможною, постійно оновляється та модернізуватись, а державні та приватні підприємства будуть приваблювати дані проекти.

Далі потрібно визначити потенційні групи клієнтів та сформулювати перелік вимог до товару кожної групи (табл.5.6)

Таблиця 5.6

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Проведення перевірки лічильників газу за робочого середовища – повітря, а використання на природному газі з мінімальною похибкою.	Приватні та державні установи, що займаються проведенням перевірки та калібровки лічильників газу, лабораторії які використовують систему для дослідження.	Фактори зовнішнього маркетингового середовища, фінансові можливості, дефіцит необхідних матеріалів, індивідуальність, сприйняття.	Висока якість системи, надійність, герметичність, захищеність, своєчасність виконання роботи

Державні та приватні підприємства будуть зацікавлені в даному проекті, він дозволить зменшити час та зусилля на повірку чи калібрування лічильників, зменшити похибку різності робочих середовищ. Компоненти системи на даний час найточніші із існуючих, що забезпечить високу точність та надійність.

Після визначення потенційних груп клієнтів проекту, потрібно провести аналіз ринкового середовища: факторів, які загрожують проекту та фактори що прискорюють його розвиток.

Фактори загроз перелічені в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Посилення конкуренції на ринку.	Зменшення продажу	Наукові дослідження для покращення системи.
2.	Відсутність надійних постачальників високоякісного обладнання.	Зменшення продажу	Пошуки постачальників за межами країни.
3.	Несприятлива державна податкова політика, криза.	Фінансові збитки	Зменшення ціни товару, пошук інвесторів, партнерів.
4.	Економічний фактор	Користувачі не будуть купувати систему	Розширення функцій, заміна компонентів, зниження ціни.
5.	Технічний фактор	Не всі користувачі вміють налаштовувати систему.	Створення онлайн підтримки по налаштуванню, збільшення автономного керування

Основним фактором загроз є економічний фактор, так як для деяких підприємств вона може виявитись занадто дорогою. Також важливу роль грає фактор постачання високоякісного обладнання.

Але також є і певні можливості (табл. 5.8).

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Вихід на нові ринки	Збільшення кількості продажів	Підвищення попиту, залучення іноземних інвестицій
2.	Розширення можливостей системи	Сервісне обслуговування, створення нових програм	Підвищення попиту, додатковий прибуток
3.	Можливість розробки власних інноваційних рішень	Якісне покращення основних параметрів продукту	Підвищення попиту та ціни, пошук партнерів
4.	Популяризація	Збільшення кількості продажів за рахунок реклами	Послуги маркетологів

Якщо система буде зарекомендована як в Україні так і за кордоном, це збільшить її попит, відбудеться залучення закордонних інвесторів.

Далі проведемо аналіз пропозиції. Загальні риси конкуренції на ринку наведено в табл. 5.9

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Чиста конкуренція	Економічне суперництво між суб'єктами економічних процесів, коли жоден з них (компанія, підприємство, споживач, працівник та ін.) не може впливати на загальну ситуацію на ринку або цей вплив є таким незначним, що ним можна знехтувати	Концентрація діяльності підприємства на новизну та якість товару
2. Національна	Між компаніями всередині країни	Варіація об'ємів виробництва, співпраця з компаніями якісніших датчиків

3. За галузевою ознакою Внутрішньогалузева конкуренція	Конкурентна боротьба між підприємствами в межах однієї галузі	Формування ринкової вартості товару
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Конкуренція між товарами одного виду	Унікальність кожного об'єкту; удосконалення та створення нових функцій
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Цінова. Для значної частки споживачів ціна є визначальною при виборі	Зниження ціни на продукцію, додаткові витрати
6. За інтенсивністю - марочна	Конкурентні компанії пропонують подібний продукт	Зниження цін на товар; концентрація діяльності на якісну зміну системи; закупка якісних приладів, створення власної торгової марки

Як показують риси конкуренції на ринку, дана система є конкурентоспроможною. Для повної переваги над конкурентами необхідно розробити стратегію розвитку на найближчі роки. При формуванні стратегії фірма повинна врахувати фактори, що впливають на інтенсивність конкуренції.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 5.10

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	«Аква-імпульс» «Flagma» «Flow-analys»	Високий бар'єр входження в ринок	Невелика собівартість, менша якість товару	Невелика та велика собівартість (в залежності від комплектації)	Фактори загроз з боку замінників є
Висновки	Інтенсивне	Потенційні клієнти є, є можливості виходу на ринок	Ціна, умови співпраці, кількість обладнання	Вартість системи, якість, гарантійний строк	Відсутнє

На основі проведеного аналізу конкуренції (табл 5.10) а також врахувавши ідею проекту, вимоги споживачів (табл. 5.6) та факторів маркетингового середовища (табл. 5.7, 5.8) можна зробити висновок, що дана система не повинна поступатись в ціні конкурентам, щоб збільшити попит користувачів на неї.

Основними умовами забезпечення конкурентоспроможності є: застосування наукового підходу для покращення системи, збільшення точності, та зменшення похибки різності робочих середовищ, розгляд взаємозв'язку управління процесами на всіх стадіях життєвого циклу; формування системи постійної конкурентоспроможності різних об'єктів.

З вище зробленого аналізу визначено фактори конкурентоспроможності, які показано в (табл. 5.11).

Таблиця 5.11

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Використання високотехнологічного обладнання	Якість продукції, точність параметрів тестування, висока достовірність отриманих результатів, самодіагностика приладів
2	Наявність кваліфікованих співробітників.	Достовірність отриманих результатів, гарантія правильної роботи обладнання
3	Технічне обслуговування	Оновлення системи та комплектації
4	Покращення проведення перевірки та калібрування	Система контролю похибки різності середовищ, контроль температури, тиску, герметичності.

Для забезпечення високої конкурентоспроможності потрібно приділити велику увагу якості обладнання та окремим компонентам системи, які забезпечать надійність роботи, самодіагностику та приділити увагу автономності, зробити її простою у використанні, приділити велику увагу програмному забезпеченню та простоті інтерфейсу.

Таблиця 5.12

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «DUST_METER»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з METER Company						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Висока якість і своєчасність виконання роботи	20							+
2	Велика кількість постачальників	15						+	
3	Індивідуальний підхід	20							+
4	Оптимальне співвідношення ціни і якості	10			+				

З таблиць 5.11 та 5.12 видно, що фактори які впливають на конкурентоспроможність суттєві і мають великий позитивний внесок при впровадженні нових датчиків, та програмного забезпечення, що полегшить повірку та калібрування. Головною перевагою є висока якість системи та можливість оновлення компонентів на протязі всього терміну використання.

Таблиця 5.13

SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Високотехнологічне обладнання; 2. Кваліфіковані співробітники; 3. Збереження природних ресурсів; 4. Простота заміни компонентів; 5. Технічне обслуговування.	Слабкі сторони: 1. Високий рівень цін компонентів системи; 2. Система потребує певних знань користувачів.
Можливості: 1. Розширення переліку послуг; 2. Вихід на нові ринки; 3. Розробки власних інноваційних рішень; 4. Покращення характеристик системи; 5. Популяризація.	Загрози: 1. Посилення конкуренції на ринку; 2. Несприятлива державно-податкова політика; 3. Криза 4. Відсутність надійних постачальників високоякісного обладнання; 5. Необізнаність користувачів.

Для підтримання конкурентоспроможності потрібно передбачити несприятливі умови, такі як поява нових, більш якісних систем та компонентів, нестабільність ринку, та ін... Також потрібно збільшувати попит за рахунок

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

залучення закордонних інвесторів, реклами, постійного удосконалення системи та знаходження нових більш простих рішень.

На основі SWOT-аналізу розроблено альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап проекту на ринок та час його реалізації, з врахуванням потенційних конкурентів, що можуть бути введені на ринок.

Таблиця 5.14

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
	Пошук інвестицій	Середня	2-6 місяців
	Збільшення ринку збуту завдяки рекламі	Висока	1-2 роки
	Зменшення ціни на продукт. Акції	Висока	1-3 роки
	Вихід на міжнародний ринок	Висока	3-4 роки

Провівши аналіз ринкового впровадження системи, робимо висновок, що найкращим виходом буде вихід на міжнародний ринок за рахунок постійного оновлення системи та високу якість її складових.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 5.15

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Приватні підприємства	готові	середній	Висока	+

2.	Державні підприємства			Висока	+
3.	Лабораторії			Середня	+
Які цільові групи обрано: Приватні та державні підприємства.					

Після аналізу цільових груп обрано основними споживачами приватні та державні установи, що займаються повіркою та калібруванням лічильників газу. На основі аналізу обрано стратегію диференційованого маркетингу.

Для високого попиту на продукт в даному сегменті потрібно сформувати стратегію розвитку.

Таблиця 5.16

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Залучення споживачів	Орієнтир не тільки на приватні і державні фірми, а і на лабораторії. Реклама та створення стійкого попиту на товар; якісне обладнання.	Якісне обладнання; Оптимальне співвідношення ціна-якість.	Удосконалення

Потрібно залучати не тільки приватні та державні фірми, що займаються повіркою та калібруванням, а і невеликі лабораторії. Постачання якісних компонентів та удосконалення системи є основними для підтримки конкуренції на ринку.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.17).

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.17

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Продукт не є «першопрохідцем» на ринку	Компанія націлена на всіх клієнтів	Компанія провела аналіз всіх створених систем і створює свою унікальну, не схожу на інших систему.	Наступальна війна

Не зважаючи на те, що розмір ринкового сегменту є не досить великим, він достатньо прибутковий, стратегію конкурентною поведінки обрано « наступальна війна» . Основним при цьому повинно бути завоювання довіри споживача. Це можна зробити за рахунок удосконалення системи, підвищення її точності, надійності, автономності, спрощення інтерфейсу.

На основі вимог споживача формуємо стратегію позиціонування табл. 5.18

Таблиця 5.18

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Висока якість, захищеність; вдосконалення продукту враховуючи побажання споживачів	Удосконалення	Автономність системи, можливість стеження за роботою в онлайн режимі	Висока якість, своєчасне виконання, індивідуальний підхід, сервісне обслуговування

На основі визначених базової стратегії розвитку (табл. 5.18), конкурентної поведінки (табл. 5.17) та позиціонування (табл. 5.16), сформовано напрям роботи

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стартап-компанії на ринку, що полягає у постійному розвитку та розробці нових складових системи.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 5.19 підсумовано результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.19

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Контроль працездатності системи та датчиків	Самодіагностика	оповіщення про можливий збій в роботі тієї чи іншої частини системи; контроль параметрів тиску та температури
2	Захист від зламу програмного забезпечення	Система блокування та заміни паролю	Система розпізнає несанкціонований вхід в програму, блокує процес, проводить заміну пароля то логіна, надсилає повідомлення на сервер.
3	Якість	Якісні датчики та комплектуючі	Закупівля лише якісних комплектуючих
4	Висока точність роботи, низька похибка	Нова функція використання критерію гідрогазодинаміки	Використання комплексного критерію дозволить суттєво зменшити похибку середовищ, та підвищити точність ротит

Знаходження ключових переваг товару є досить важливим етапом при розробці стартапу. Це дозволяє задовольнити потреби клієнтів та підвищити конкурентоспроможність. Тому вигідними сторонами стартапу обрано: функцію використання критерію гідрогазодинаміки, якісні датчики та комплектуючі.

Таблиця 5.20

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Точне проведення повірки та калібрування за робочого середовища повітря і використання потім на природному газі

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Комп'ютерна система	Нм	
	2. Датчики	М	
	3. Можливість онлайн моніторингу стану системи		
	4. Інтерфейс		
	Якість: технічний регламент , результати тестування системи, патент		
	Пакування: кожен датчик упаковано в окрему коробку		
	Марка: flow-simulation		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: система повірки та калібрування flow-simulation		
	Після продажу: оновлення системи з часом		
Потенційний товар буде захищено від копіювання за рахунок логотипу, введення комерційної таємниці на систему (система «під ключ»), патентування розробленого методу.			

Описавши трирівневу модель товару потрібно визначити цінові межі на товар, керуючись при цьому собівартістю продукту та цінами фірм конкурентів.

Таблиця 5.21

Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів фірм	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	LITE SOLUTION	450000	800000-1500000	500000-1000000.

Ціни на систему для повірки і калібрування лічильників газу лежать в межах від 500000 до 1000000 та в загальному залежать від вартості компонентів.

Таблиця 5.22

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
-------	---	---	----------------------	--------------------------

	Не регулярне замовлення системи	Встановлення контактів із споживачами та підтримка їх; формування попиту і стимулювання збуту; зменшення витрат; маркетингове дослідження.	0 (без посередників)	Приватні та державні підприємства
--	---------------------------------	--	----------------------	-----------------------------------

Для ефективної реалізації стартапу обрано пряму систему збуту, без залучення посередників між виробником та споживачем. Замовити товар та комплектуючі можна буде за допомогою сайту.

Таблиця 5.23

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Орієнтація на регулярні поставки	Формальні/неформальні канали комунікацій	Індивідуальний підхід; Самодіагностика системи; Якісні комплектуючі; Захист системи; Можливість онлайн стаження.	Інформування споживачів; Розвиток попиту; Стимулювання продажу; Пошук вигідних партнерів;	Данна система є інноваційною та унікальною

Результатом є регулярне постачання товару, індивідуальний підхід до кожного клієнта, самодіагностика системи, висока якість комплектуючих, захищеність від несанкціонованого проникнення та можливість стеження в режимі онлайн.

5.6 Висновки до розділу 4

Пропонується нова система для виконання повірки та калібрування лічильників газу, що забезпечить високу точність, автономність, та мінімалізацію часу, врахувавши при цьому всі коефіцієнти подібності, та визначивши при цьому комплексний критерій подібності. Визначаємо перелік техніко-економічних

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

властивостей та характеристик ідеї. Визначаємо групу конкурентів, що вже існують на ринку та збираємо інформацію про техніко-економічні показники для власної системи. Дізнаємось сильні та слабкі сторони проекту. Систему можна побудувати і промодельовати у Simulink ansys, далі потрібно виконати стеження в онлайн режимі і захищеність системи за допомогою Fail2ban.

Для забезпечення високої конкурентоспроможності потрібно приділити велику увагу якості обладнання та окремим компонентам системи, які забезпечать надійність роботи, самодіагностику та приділити увагу автономності, зробити її простою у використанні, приділити велику увагу програмному забезпеченню та простоті інтерфейсу.

Основними умовами забезпечення конкурентоспроможності є: застосування наукового підходу для покращення системи, збільшення точності, та зменшення похибки різності робочих середовищ, розгляд взаємозв'язку управління процесами на всіх стадіях життєвого циклу; формування системи постійної конкурентоспроможності різних об'єктів.

Для ефективної реалізації стартапу обрано пряму систему збуту, без залучення посередників між виробником та споживачем. Замовити товар та комплектуючі можна буде за допомогою сайту.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В магістерській дисертації було проведено дослідження умов відмінностей при калібруванні лічильників газу. Зроблено аналіз стану проблеми вимірювання об'єму та об'ємної витрати. Проведено характеристику робочого середовища – природний газ. Зроблено аналіз сучасних методів та засобів вимірювання витрати газу.

Проведено аналіз сучасних вимірювальних перетворювачів витрати. Вони всі відрізняються за принципом роботи і будовою. Тому кожен потрібно підбирати конкретно для умов в яких він буде працювати. Найпоширенішими сьогодні є турбінні, ультразвукові, мембранні, роторні та барабанні витратоміри.

Після проведення дослідження умов відмінностей при калібруванні лічильників газу розроблено комплекс врахувань неоднорідностей характеристик робочого середовища на основі гідрогазодинамічної теорії.

Проведено дослідження із застосування Ansys технологій та зроблено калібрування реального лічильника на повітрі. Дослідження показало, що між середовищами є деяка відмінність, що і впливає на результат обліку.

Проведено експериментальне дослідження невідповідності робочих середовищ. Калібрування турбінного лічильника IGTМ на повітрі та природному газі.

Розроблено стартап проект системи калібрування з врахуванням гідрогазодинамічної теорії. Основним збереженням конкурентоспроможності є застосування наукового підходу для покращення системи, збільшення точності, та зменшення похибки різності робочих середовищ, розгляд взаємозв'язку управління процесами на всіх стадіях життєвого циклу. Щоб ефективно реалізувати стартап потрібно обрати пряму систему збуту, без залучення посередників між виробником та споживачем.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Pisarets A. Optimization of turbine type flow rate transducer with hydrodynamic balancing of sensitive element / A. Pisarets, I. Korobko // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2017. – Вип. 54(2). – С. 65 – 71.
2. Писарець А. В. Вимірювання кількості теплової енергії із застосуванням ультразвукового методу / А. В. Писарець, С. О.Поліщук // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2017. – Вип. 53(1). – С. 56 – 61.
3. Коробко І.В. Дослідження плунжерного витратоміра з лінійними декодером у складі одоризаційної установки./ І.В.Коробко, В.В.Кротеви́ч// Метрологія і прилади. 2017. №4 (66) – С.17-20.
4. Патент № 113091 Україна, МПК(2016) G01F1/05, G01F1/34, G01F1/66, G01F15/04. Комплекс вимірювання витрати газу з потрійною системою реєстрації і формувачем потоку /І.В.Коробко , О.О.Драчук, В.А.Коваленко, А.М.Рак./ Заявл. 23.01.2015; опубл. 12.12.2016, Бюл. № 23.
5. Патент № 113092 Україна, МПК(2016) G01F1/05, G01F1/34, G01F1/66, G01F15/04. Комплекс вимірювання витрати газу з потрійною системою реєстрації / І.В.Коробко, Я.М.Власюк, О.О.Драчук, В.А.Коваленко/ Заявл. 23.01.2015; опубл. 12.12.2016, Бюл. № 23
6. Патент № 113648 Україна, МПК(2016) G01F 25/00. Еталонна дзвонова дискретно-динамічна установка для точного відтворення та вимірювання об'єму і об'ємної витрати газу /І.В.Коробко, А.М.Рак., І.В.Щупак, Ю.В.Кузьменко./ /Заявл. 09.12.2014; опубл. 27.02.2017, Бюл. № 4.
7. Gryshanova I Increasing of accuracy of multipath ultrasonic flow meters by intelligent correction// I.Gryshanova, I.Korobko , P.Pogrebniy// Measurement Automation Monitoring. Dec.2016, no 12, vol. 62. pp.411-416.
8. Коробко І. В. Оцінка якості визначення об'єму та об'ємної витрати води / І. В. Коробко, Є. В. Писарець, А. В. Писарець // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2016. – Вип. 51(1). – С. 89 – 94.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

9. Коробко І.В. Врахування характеристик робочого середовища за застосування турбінних лічильників природного газу/І.В.Коробко, А.М.Рак, В.В.Кротевіч, І.В.Щупак / Метрологія і прилади. 2016. №3 (59) – С.50-57.
10. Коробко І.В. Науково-навчальний лабораторний комплекс вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу/ І.В.Коробко, В.П.Лісовець, Д.М.Гречко/ Нафтогазова галузь України. 2016 .№6 – С.40-42
11. Коробко І.В. Інформаційне забезпечення оптимізації лічильників газу турбінного класу/ І.В.Коробко, Я.І.Могирьов., В.В. Кротевіч/ Нафтогазова галузь України. 2016 .№3 – С.26-29.
12. Коробко І.В. Програмний комплекс розрахунків і дослідження турбінних вимірювальних перетворювачів витрати рідини та газу// І.В.Коробко, Я.І.Могирьов., В.В. Кротевіч/ Вісн. НТУУ "КПІ". Сер. Машинобудування. – 2015, вип. 3(75), с.72...79
13. Korobko I. Development of national standards volume and volumetric flowrate of natural gas in Ukraine/ I/Korobko, A.Rak/ Вісн. НТУУ "КПІ". Сер. Машинобудування. – 2015, вип. 2(74), с.5...12
14. Патент № 108935 Україна, МПК(2015) G01F 1/28(2006.01). Витратомір з розширеним діапазоном вимірювання /І.В.Коробко, О.О.Драчук, В.А.Коваленко/ Заявл. 04.12.2013; опубл. 25.06.2015, Бюл. № 12.
15. Патент на корисну модель №99876 U Україна, МПК(2015) G01F 1/00 Комплекс вимірювання витрати природного газу з формувачем потоку./ І.В.Коробко, /І.В.Коробко, О.О.Драчук, В.А.Коваленко/ заявл. 23.01.2015; опубл. 25.06.2015, Бюл. № 12.
16. Патент на корисну модель № 99877 U Україна, МПК(2015) G01F 1/00. Комплекс вимірювання витрати природного газу/ І.В.Коробко, Я.М.Власюк., О.О. Драчук., В.А.Коваленко В. А. Заявл. 23.01.2015; опубл. 25.06.2015, Бюл. № 12.
17. Патент на корисну модель № 99751U; Україна. МПК(2015) G01F 25/00. Пристрій для забезпечення лінійності опускання дзвонового мірника /А.М.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107

Рак, І.В. Щупак, І.В. Коробко., О.О. Драчук, В.А. Коваленко/ Заявл. 09.12.2014; опубл. 25.06.2015, Бюл. № 12.

18. Коробко І. В. Дослідження впливу форми чутливого елемента на динамічні характеристики турбінних перетворювачів витрати / І. В. Коробко, А. В. Писарець, І. В. Фісунов // Вісник НТУУ "КПІ". Сер. Приладобудування. – 2015. – №49 (1). – С.14 – 20.
19. Приладобудування та автоматизація. Терміни і визначення. Ч.1 [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студ. спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітня програма «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування приладів», 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка», освітня програма «Інформаційно-вимірювальні системи та технології в приладобудуванні» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. О. К. Нікітін, В. М. Зайцев, Т. О. Толочко. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,29 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 203 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/30404>
20. Гришанова І.А. Визначення топологій вимірювальних хорд ультразвукових перетворювачів витрати рідини//І.А.Гришанова, І.В.Коробко, П.В.Погребной/ Науково-технічний журнал "Методи та прилади контролю якості" – 2015. - №1(34).- С.66-77
21. Коробко І.В. Дослідження стабільності тиску в установці дзвонового типу з керованим рухом мірника/ І.В.Коробко., А.М.Рак/ Вісник НТУУ "КПІ". Сер. Машинобудування. – 2015. – Вип. 1(73). – С. 100–106.,
22. Воцинський В.В. Математична модель швидкостей потоку в кільцевому січнні турбінного лічильника– 2016. – Вип. 1(23). – С. 123–128.,
23. Магістерська дисертація: організація, вимоги до структури, змісту та оформлення [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньо-професійними програмами спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. К.

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

Нікітін, В. М. Зайцев. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,09 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 106 с.
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/30397>

24.Коробко І.В. Визначення ступеня неоднорідності потоку рідини в технологічних мережах/І.В.Коробко/ Вісник НТУУ"КПІ". Сер. Приладобудування. – 2014. – Вип. 48(2). – С. 93–101.

25.Критерий_подобия. Електронний ресурс [Режим доступу]:
[https://uk.wikipedia.org/wiki/Число_Ейлера_\(фізика\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Число_Ейлера_(фізика))

					МД ПІ-81мп.09.000.000 ПЗ	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		